

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Luka Olivari**

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Ciglar

Student:

Luka Olivari

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija, služeći se navedenom literaturom, te savjetima mentora, prof. dr. sc. Damira Ciglara, g. Duška Radovića, direktora firme Teh-Cut d.o.o., djelatnika firme Teh-Cut d.o.o., te g. Zorana Merenića, direktora firme Tehnoprogres.

Zahvaljujem se svom mentoru, prof. dr. sc. Damiru Ciglaru koji me je prihvatio pod svoje vodstvo. Zahvaljujem se g. Dušku Radoviću, direktoru firme Teh-Cut d.o.o. na pokazanom interesu i ukazanom povjerenju, te omogućenom pristupu potrebnoj opremi, djelatnicima Teh-Cut d.o.o. na strpljenju i savjetima. Također se zahvaljujem g. Zoranu Mareniću, direktoru firme Tehnoprogres na volji i strpljenju, te ustupljenim materijalima i konkretnim podacima koji su u velikoj mjeri korišteni prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se roditeljima na konstantnoj podršci tijekom čitavog studija bez kojih studiranje ne bi bilo moguće, te prijateljima na brojnim sitnicama koji su mi pomogli kako tijekom studiranja, tako i prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Luka Olivari



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Olivari** Mat. br.: 0035168409

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **AUTOMATSKA IZMJENA OBRADAKA PALETNIM SUSTAVOM**

Naslov rada na engleskom jeziku: **PALLETIZING SYSTEM FOR AUTOMATIC WORKPIECE CHANGE**

Opis zadatka:

U obradi odvajanjem čestica, velike gubitke predstavljaju pomoćna vremena, odnosno vremena prilikom kojih se ne dodaje vrijednost samome obratku. Kod suvremenih numerički upravljanih alatnih strojeva, automatska izmjena alata i automatska izmjena obradaka značajno skraćuju pomoćna vremena i osnovni su uvjet autonomnosti procesa. Jedan od najvećih preokreta na području automatske izmjene obradaka je paletizacija alatnih strojeva.

U ovom diplomskom radu potrebno je dati opći pregled i opis sustava za automatsku izmjenu obradaka. Na konkretnom primjeru potrebno je prikazati uštede koje se postižu primjenom paletizacije alatnog stroja u vidu povećanja efektivnog rada stroja, te time ujedno i povećanja tržišne konkurentnosti.

Zadatak zadan:

19. rujna 2013.

Rok predaje rada:

21. studenog 2013.

Predviđeni datum obrane:

27., 28. i 29. studenog 2013.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Ciglar

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner



## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA .....	VII
SAŽETAK .....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD .....	1
1.1. Sustavi za automatsku izmjenu alata i obradaka .....	2
2. RUKOVANJE OBRATCIMA .....	6
2.1. Prihvat obratka.....	6
2.1.1. Pneumatske stezne naprave .....	12
2.1.2. Hidrauličke stezne naprave .....	13
2.1.3. Magnetske stezne naprave.....	14
2.1.4. Vakuumske stezne naprave .....	15
2.2. Izmjena obratka .....	17
2.2.1. Izmjena obradaka pomoću paleta .....	18
2.2.2. Izmjena obradaka pomoću robota i manipulatora .....	19
2.2.3. Ulaganje sirovca šipkastog oblika .....	20
2.3. Preuzimanje, transport i skladištenje obradaka .....	22
2.3.1. Vibrodadavači.....	22
2.3.2. Konvejeri i transportne linije.....	23
2.3.3. Automatski vođena vozila .....	25
3. PALETNI SUSTAV .....	28
3.1. Paleta.....	29
3.2. Prihvat palete.....	35
3.3. Referentni sustavi .....	43
3.4. Uređaji za izmjenu paleta, spremište paleta i transportni sustav.....	46
3.4.1. Sustav automatske izmjene paleta s dva manipulacijska stola.....	46
3.4.2. Sustav automatske izmjene paleta s okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom.....	47
3.4.3. Osnovni tipovi uređaja za izmjenu paleta .....	48
3.4.4. Izmjena paleta manipulatorima .....	50
3.4.5. Spremište paleta i transportni sustav.....	51
3.5. Automatizacija paletnog sustava .....	54
4. PRIMJENA PALETNOG SUSTAVA I POSTIGNUTE UŠTEDE .....	57
4.1. Konvencionalna izmjena obradaka na klasičnom numerički upravljanom obradnom stroju .....	61
4.1.1. Rezultati mjerenja vremena konvencionalnom izmjenom obradaka.....	67
4.2. Ručna izmjena paleta na 5-osnom obradnom centru .....	68
4.2.1. Mjerenje vremena izmjene obradaka ručnom izmjenom paleta.....	74
4.3. Automatska izmjena paleta .....	76

---

4.3.1. Mjerenje vremena izmjene obradaka automatskom izmjenom paleta.....	79
4.4. Postupak izrade elektrode za EDM i primjena paletizacije .....	80
4.5. Usporedba rezultata i proračun proizvodnosti i rentabilnosti obradnog stroja .....	83
5. ZAKLJUČAK.....	88
6. LITERATURA .....	90
PRILOZI .....	91

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Sustavi za rukovanje [2] .....	2
Slika 2.	Lanac procesa rukovanja [2].....	5
Slika 3.	Osnovna podjela naprava za stezanje [4] .....	7
Slika 4.	Modularna stega i dodatni dijelovi [2] .....	8
Slika 5.	Stezni sustavi s definiranom nul-točkom [2][5].....	9
Slika 6.	Pozicioniranje obratka na radni stol obradnog stroja [4].....	9
Slika 7.	Prihvat za stezne naprave na radnoj plohi stola [4].....	10
Slika 8.	Podjela steznih naprava prema principu prihвата [2].....	11
Slika 9.	Pneumatske stezne naprave [6] .....	12
Slika 10.	Hidrauličke stezne naprave [4] .....	13
Slika 11.	Magnetska stezna naprava za obradne sustave [7].....	15
Slika 12.	Vakumski stol i oprema [8] .....	15
Slika 13.	Postavljanje brtvi i otvaranje usisnih kanala [10] .....	16
Slika 14.	Izmjena paleta okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom [12].....	18
Slika 15.	Primjeri Hermle sustava za rukovanje obradcima Kuka robotima [12].....	19
Slika 16.	Stroj za ulaganje EDGE Minuteman [13] .....	20
Slika 17.	Umetanje šipki u stroj za ulaganje [13].....	21
Slika 18.	Stroj za izmjenu obradaka vođenjem šipke kroz glavno vreteno [14].....	21
Slika 19.	Vibrodadavači [15].....	22
Slika 20.	Različiti prijenosni elementi konvejera: a) trake, b) valjci, c) kuglični elementi, d) klinasti remen, e) lanci, f) plastični elementi [16] .....	23
Slika 21.	Konvejeri za prijevoz paleta [16].....	24
Slika 22.	Specijalne izvedbe konvejera [16] .....	24
Slika 23.	Fleksibilna transportna linija [4] .....	25
Slika 24.	AGV-ovi različitih namjena: a) prijevoz namotaja, b) izvedba s konvejerom, c) viljuškar, d) vuča tereta [17] .....	26
Slika 25.	Paleta [19].....	29
Slika 26.	Paleta s vertikalnim steznim površinama za obradak i izmjenjivim steznim elementima [20] .....	30
Slika 27.	Paleta s pozicijama elemenata paleta [11].....	31
Slika 28.	Paleta manjih dimenzija [21] .....	32
Slika 29.	Adapteri za prihvat manjeg referentnog sustava paleta [21] .....	32
Slika 30.	Veza paleta sa držačem paleta a) paleta b) držač paleta [11] .....	35
Slika 31.	Stezni sustav s definiranom nul-točkom obratka [2][5] .....	36
Slika 32.	Stezna čeljust i paleta Macro referentnog sustava [21].....	37
Slika 33.	Donja strana paleta sa ref. elementima i ref. elementi koji se ugrađuju na paletu [21] .....	37
Slika 34.	Pomoćni mehanizmi na steznim čeljustima [21] .....	38
Slika 35.	Stezne ploče [21].....	38
Slika 36.	Prihvat paleta preko više steznih čeljusti [21] .....	39
Slika 37.	Pozicioniranje preko steznih spojnica [21].....	39
Slika 38.	Naprave za vertikalni prihvat paleta [21] .....	40
Slika 39.	Princip kontroliranog spuštanja obratka [21] .....	40

Slika 40.	Razlika u kvaliteti površine a) sa VDP prihvatom palete, b) sa konvencionalnim prihvatom palete [21] .....	41
Slika 41.	Elektroda izrađena na VDP prihvatu palete [21] .....	42
Slika 42.	Grafički prikaz prednosti korištenja VDP prihvata palete [21] .....	42
Slika 43.	Podjela referentnih sustava tvrtke System 3R prema dimenzijama obratka [21] ..	44
Slika 44.	Podjela referentnih sustava tvrtke System 3R prema masi obratka izraženoj u kg [21] .....	44
Slika 45.	Macro referentni sustav [21] .....	45
Slika 46.	Izmjena paleta s dva manipulacijska stola [1] [14] .....	47
Slika 47.	Izmjena paleta pomoću okretnog manipulacijskog dvopaletnog stola [1] [4] .....	48
Slika 48.	Način izmjene paleta pomoću uređaja za izmjenu paleta [11] .....	48
Slika 49.	Izmjena paleta uređajem za izmjenu paleta i njegove varijante [11] .....	49
Slika 50.	Manipulator sa skladištem za izmjenu paleta; lijevo - za jedan obradni stroj; desno - za dva obradna stroja [21] .....	50
Slika 51.	Manipulator za izmjenu paleta između više obradnih strojeva [21] .....	51
Slika 52.	Automatska izmjena obradaka sa spremištem paleta i okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom [11] .....	52
Slika 53.	3D i shematski prikaz automatske izmjene paleta kod pravocrtnog fleksibilnog obradnog sustava [11] [22] .....	53
Slika 54.	Modularno skladište sa manipulatorom [21] .....	54
Slika 55.	Modularno skladište sa šinskim transportom manipulatora. [21] .....	54
Slika 56.	Nosači koda (transponderi) [21] .....	55
Slika 57.	Čitač koda [21] .....	56
Slika 58.	Očitavanje koda palete u spremištu paleta pomoću manipulatora .....	56
Slika 59.	Zauzetost obradnog stroja u suvremenoj proizvodnji [21] .....	57
Slika 60.	Grafički prikaz ušteda primjenom paletnog sustava [21] .....	58
Slika 61.	Primjena paletizacije u automobilske industriji [21] .....	59
Slika 62.	Primjena paletizacije u zrakoplovnoj industriji [21] .....	59
Slika 63.	Primjena paletizacije u medicinske industriji [21] .....	60
Slika 64.	Primjena paletizacije pri izradi satova [21] .....	61
Slika 65.	Radni stol nakon obrade i čišćenje gotovog izratka .....	62
Slika 66.	Uklanjanje gotovog izratka i stezne naprave sa radnog stola obradnog stroja .....	62
Slika 67.	Čišćenje steznih elemenata i radnog stola .....	63
Slika 68.	Postavljanje stezne naprave i stezanje obratka .....	63
Slika 69.	Definiranje nul-točaka obratka .....	64
Slika 70.	Postavljanje zaštite na NU obradni stroj .....	64
Slika 71.	Čišćenje steznih elemenata i radni stol spreman za stezanje novog obratka .....	65
Slika 72.	Transport, čišćenje i stezanje obratka .....	65
Slika 73.	Stezanje i pozicioniranje škripca na radni stol obradnog stroja .....	66
Slika 74.	Pozicioniranje i definiranje nul-točaka obratka .....	66
Slika 75.	Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod ručne izmjene obradaka .....	68
Slika 76.	GPS240 referentni sustav [21] .....	69
Slika 77.	Otpuštanje gotovog izratka i čišćenje obradnog stroja .....	69
Slika 78.	Stezanje obratka i obradak u steznoj napravi .....	70
Slika 79.	Pozicioniranje obratka i definiranje nul-točaka .....	70
Slika 80.	Čišćenje palete i prihvata palete .....	71
Slika 81.	Ručna izmjena paleta i pneumatski aktuator .....	71
Slika 82.	Određivanje nul-točaka obratka preko 3D mjernog uređaja .....	72

Slika 83.	Određivanje nul-točke z-osi i unošenje podataka u upravljačku jedinicu obradnog stroja .....	73
Slika 84.	Stezanje obratka uz pomoć graničnika .....	73
Slika 85.	Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod ručne izmjene paleta, pojedinačna proizvodnja.....	75
Slika 86.	Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod ručne izmjene paleta, serijska proizvodnja.....	75
Slika 87.	Obradna ćelija Hermle C30U [24] .....	76
Slika 88.	Sapnica za prihvata i hlađenje gorivih šipki u jezgri nuklearnog reaktora .....	77
Slika 89.	Alat za ispuhivanje .....	78
Slika 90.	Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod automatske izmjene paleta .....	80
Slika 91.	Elektroda za EDM nakon izrade na obradnom stroju .....	81
Slika 92.	Mjerenje elektrode na 3D mjernom uređaju .....	81
Slika 93.	Spremište alata na erozimat .....	82
Slika 94.	Paletirana elektroda u glavnom vretenu erozimata .....	82
Slika 95.	Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena izmjene obradaka .....	83

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Načini izmjene obradaka i kriteriji primjene [11].....	17
Tablica 2. Tipovi paleta .....	33
Tablica 3. Tipovi paleta - nastavak.....	34
Tablica 4. Rezultati mjerenja vremena izmjene obradaka na klasičnom NU stroju .....	67
Tablica 5. Rezultati mjerenja vremena ručne izmjene paleta kod pojedinačne proizvodnje..	74
Tablica 6. Rezultati mjerenja vremena ručne izmjene paleta kod serijske proizvodnje.....	74
Tablica 7. Rezultati mjerenja vremena automatske izmjene paleta .....	79
Tablica 8. Dobiveni rezultati mjerenja vremena izmjene obradaka .....	83
Tablica 9. Primjer proračuna proizvodnosti obradnog stroja.....	85
Tablica 10. Rezultati proračuna rentabilnosti obradnog stroja .....	86

## **SAŽETAK**

U diplomskom radu prikazane su uštede koje se postižu primjenom paletnog sustava za izmjenu obradaka na obradnim strojevima, te su opisani elementi tog sustava. Također, u radu je napravljen pregled sustava za rukovanje obrtcima. U praktičnom dijelu rada mjerena su vremena izmjene obradaka: ručna izmjena obradaka na klasičnom numerički upravljanom obradnom stroju, ručna izmjena paleta na 5-osnom obradnom centru, te automatska izmjena paleta na 5-osnoj obradnoj ćeliji. Rezultati su uspoređeni, te su prikazane uštede koje se postižu primjenom paletizacije na obradnom stroju u vidu povećanja efektivnog rada obradnog stroja, odnosno produktivnosti, te time povećanja tržišne konkurentnosti.

Ključne riječi: rukovanje obrtcima, automatska izmjena obradaka, paletni sustavi, paleta, referentni sustavi.

## **SUMMARY**

This thesis deals with the reduction of workpiece changing time achieved by the use of the pallet system and gives the description of the elements of that system. In addition, it gives an overview of workpiece handling systems for metal cutting machine tools. In the practical part of the thesis, the manual workpiece changing time was compared to the workpiece changing time with the use of the pallet system. The results show the savings achieved by the use of the pallet system in form of increased productivity and profitability and thus improved market competitiveness.

Key words: workpiece handling, automatic workpiece change, pallet system, pallet, referent system.



## 1. UVOD

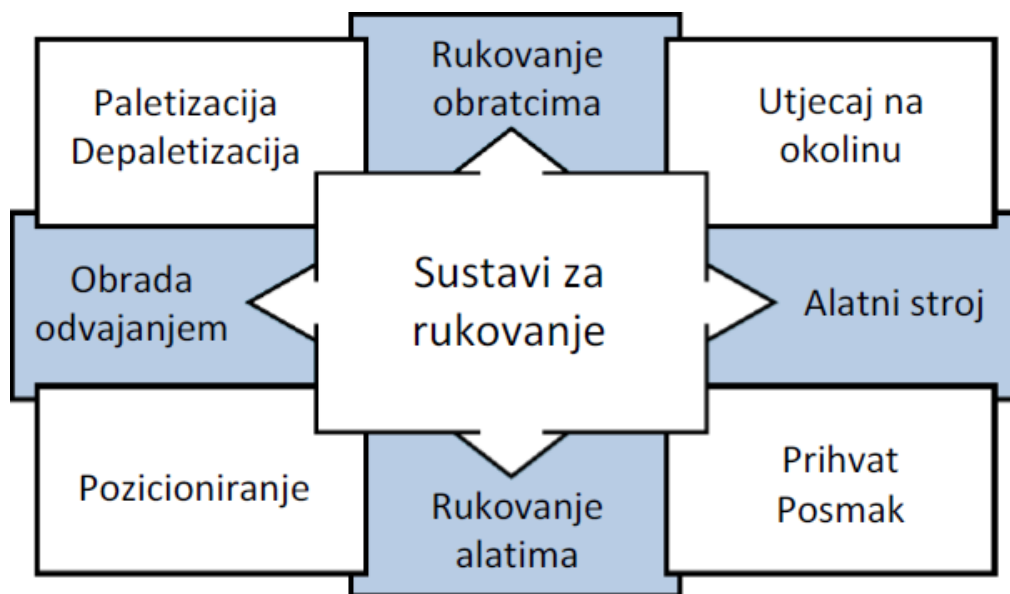
U postupcima obrade odvajanjem čestica, velike gubitke predstavljaju pomoćna vremena, odnosno vremena prilikom kojih se ne dodaje vrijednost samome obratku. Pomoćna vremena su, među ostalim, vrijeme izmjene alata, vrijeme prednamještanja alata, vrijeme pripreme i stezanja obradaka, vrijeme izmjene obradaka, kvar opreme itd. Mnoge značajke sustava za upravljanje ili samog obradnog stroja značajno su skratile pomoćna vremena, no niti jedna od tih značajki ne rješava problem stezanja pojedinačnih obradaka na obradni stroj. Jedan od najvećih preokreta na tom području je paletizacija obradnih strojeva. Tradicionalni numerički upravljani obradni strojevi su imali samo jedan radni stol. Takva konstrukcija imala je jednu veliku manu - dok obradni stroj obrađuje, niti jedna druga radnja se ne može izvesti. Dakle, priprema i stezanje sljedećeg obratka se moralo odvijati na štetu potencijalno proizvodnog vremena skupog obradnog stroja. [1] Porastom stupnja automatizacije numerički upravljanih obradnih strojeva tj. uvođenjem sustava za automatsku izmjenu alata i obradaka, iskoristivost proizvodnog vremena bitno je porasla. Tako uvođenjem sustava za automatsku izmjenu alata i spremišta alata, numerički upravljani obradni stroj postaje obradni centar, karakterističan po koncentraciji različitih operacija u jednom stezanju obratka. Izmjenu obradaka vrši operater neposredno ili pomoću izmjenjivača paleta. Uvođenjem sustava za automatsku izmjenu obradaka, kao i uređaja za pranje, sušenje i hlađenje obradaka, te uređaja za mjerenje izradaka i nadzor reznog alata, obradni centar postaje fleksibilna obradna ćelija. Ovo je samostalni sustav koji ima mogućnost autonomne i vezane proizvodnje, te se smatra početkom fleksibilne automatizacije, koja se može uklopiti u fleksibilni obradni sustav. Fleksibilni obradni sustav jest grupa numerički upravljanih obradnih strojeva ili obradnih centara, sa uređajem za pranje, sušenje i hlađenje izradaka, kao i mjernim uređajem, spremištem alata i obradaka (koji su najčešće paletizirani), stanicom za ulaganje i odlaganje, te upravljačkim sustavom, povezanih zajedničkim transportnim sustavom obradaka.

Mnoga nedavna istraživanja usredotočila su se na razumijevanje procesa rezanja. Razvoj obradnih strojeva, odnosno njihovih mogućnosti posebno u području visokobrzinskih obrada, doveo je do poboljšanja svojstava reznog alata i nastanka novih reznih materijala i prevlaka. Posljedica toga je značajno smanjenje vremena obrade. Potom se javlja potreba za dodatnom uštedom pomoćnih vremena. Uštede pomoćnih vremena postižu se skraćivanjem

vremena izmjene alata i obradaka, odnosno njihovog repozicioniranja. Kako bi se postigle još veće uštede, potrebno je usmjeriti pažnju na poboljšavanje sustava za rukovanje alatima i obradcima. Ovi sustavi imaju velik utjecaj na iskoristivost obradnih sustava i razvijeni su na pristupu optimizacije podsustava. Dostupna je široka paleta sustava za automatsku izmjenu alata i obradaka koji se mogu primijeniti na različite obratke, alate i procese proizvodnje. [2]

### 1.1. Sustavi za automatsku izmjenu alata i obradaka

Za sustave za rukovanje može se reći da su sučelja obradnog stroja s alatima i obradcima kojima se zatvara petlja obrade odvajanjem čestica. Strojne operacije se stoga može opisati kao četverostruku primjenu sustava za rukovanje. Rezultati međusobnog utjecaja ova četiri zadatka rukovanja su višestruki, od utjecaja na okolinu do pozicioniranja, kao što je prikazano na Slika 1 [2].



Slika 1. Sustavi za rukovanje [2]

Osnovni preduvjet koji se postavlja na obradne strojeve je posjedovanje određenih svojstava kao što su krutost, stabilnost procesa, visoka dinamika i točnost, koji će jamčiti njihovu kvalitetnu izvedbu. No u današnje vrijeme brze proizvodnje, kvaliteta obradnog stroja biti će od male koristi ako je ne prate i ekvivalentne mogućnosti brze izmjene alata i

obradaka. Stoga je problem konstruiranja obradnog stroja potrebno sagledati i sa strane sustava za rukovanje alatima i obratcima.

Uz sve značajniji razvoj tehnologije pojavljuje se i velik broj naprava koje mogu obaviti posao manipulacije obratkom i njegovog stezanja znatno brže, točnije, ali i pouzdanije nego čovjek. Bitna komponenta fleksibilnog obradnog sustava je sustav za rukovanje radnim dijelovima, tj. sirovcima, obratcima i gotovim izradcima, koji mora posjedovati sljedeće značajke [3]:

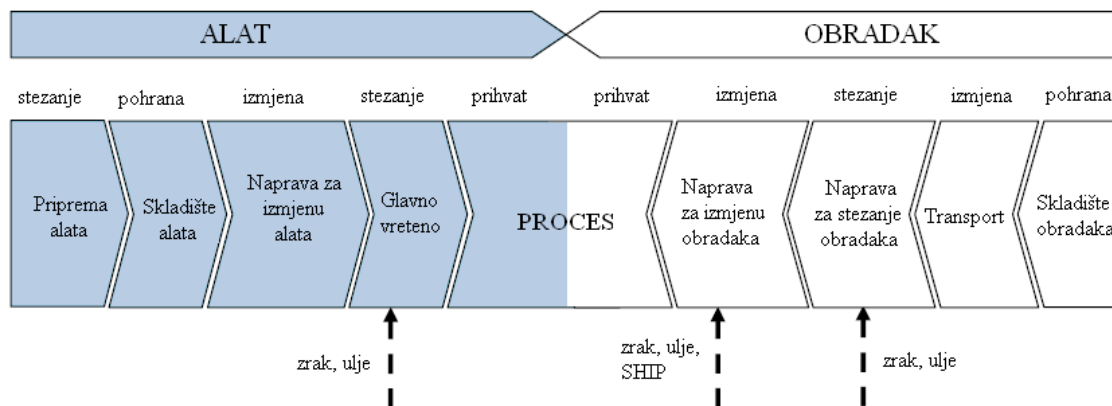
1. Dozvoljava samostalno gibanje obradaka između obradnih strojeva – mora se omogućiti gibanje obradaka između obradnih strojeva u sustavu na način da se osigura veći broj putanja obradaka i dostupnost zamjenskih obradnih strojeva ukoliko je predviđeni obradni stroj zauzet.
2. Omogućava manipulaciju raznih oblika i konfiguracija obradaka – za prizmatične obratke (ne rotirajući dijelovi), dio alata ili uređaja je projektiran na način da se prilagodi različitim konfiguracijama dijelova zahvaljujući mogućnosti brze izmjene primjenom standardnih elemenata te drugih uređaja koji omogućavaju brzu prilagodbu alata za dani obradak. Kada su u pitanju obratci koji rotiraju, za njihov utovar i istovar su često korišteni industrijski roboti, gibanje strojeva u određenim pravcima, gibanje obradaka između radnih stanica, itd.
3. Omogućava privremeno skladištenje – svaki obradni stroj mora imati male redove obradaka, potrebno je da barem jedan obradak čeka na obradu, čime se postiže visoka razina eksploatacije.
4. Osigurava prikladan pristup utovaru i istovaru obradaka – svaki sustav za rukovanje mora imati prostor predviđen za smještaj obradnih strojeva ili prihvatnih mjesta za utovar i istovar.
5. Stvaranje kompatibilnosti s računalnom kontrolom.
6. Uređaje za rukovanje – tipovi uređaja koji se koriste za transport dijelova između obradnih strojeva u fleksibilnom obradnom sustavu uključuju razne konvencionalne i moderne naprave i sustave za transport, a unutar linije razne pomoćne mehanizme i industrijske robote. Česta je podjela ovih sustava na primarne i sekundarne sustave za rukovanje obratcima. Primarni sustavi se zasnivaju na osnovi rasporeda fleksibilnog obradnog sustava i odgovornosti za gibanje obradaka između skladišta i obradnih

strojeva u sustavu. Sekundarni sustavi se pak sastoje od uređaja za transport, automatskih punjača na trakama i sličnih mehanizama lociranih unutar fleksibilnog obradnog sustava.

Kako bi obavili proces odvajanja čestica, rezni alat i obradak je (uz definirane položaje i orijentacije) u određenim njihovim točkama potrebno dovesti u istu poziciju u radnom prostoru obradnog stroja. Funkcije uređaja koji provode zadaće izmjene bilo reznog alata bilo obratka, prema [2] se mogu razdvojiti na korake *stezanja*, *izmjene* i *pohrane* određenog alata ili obratka. Konačno, tijekom postupka obrade, rezni alat i obradak moraju biti pridržavani u kontroliranim uvjetima kako bi se osigurala željena kvaliteta i učinkovitost procesa.

Osnovna zadaća sustava za rukovanje alatima i obradcima jest dovesti obradak i alat unutar obradnog stroja te konačno u kontakt tijekom obrade odvajanjem čestica. Na Slika 2 prikazan je slijed aktivnosti koje vode do međudjelovanja alata i obratka u procesu odvajanja čestica. Na strani alata, stezanje pretpostavlja prethodnu pripremu alata u držač alata, stezanje alata u sučelje na glavnom vretenu te održavanje prihvata alata tijekom obrade. Korak *izmjena* predstavlja uređaje za izmjenu alata, a korak *pohrana* moguće načine skladištenja alata. Sličan postupak se odvija i na strani obratka. Sirovce je potrebno izdvojiti iz skladišta priprema i postaviti na uređaj za prihvata priprema/obratka (npr. paleta). Sklop priprema – paleta se potom premješta u operativni prostor obradnog stroja gdje ga je potom potrebno stegnuti za radni stol obradnog stroja.

Ovisno o zadatku obrade, zahtjevi se mogu razlikovati. Kao što je već ranije navedeno, visoka dinamika izmjene je bitna za kratka vremena obrade i velik broj izmjena alata ili obradaka. S druge strane, važnost kratkog trajanja pomoćnih procesa opada povećanjem vremena trajanja procesa obrade, a važnost parametara procesa, posebice stabilnost i trošenje, dobivaju na značaju.



Slika 2. Lanac procesa rukovanja [2]

Potrebno je također razmotriti kinematsku strukturu obradnog stroja. Zahtjevi na uređaje za rukovanje alatima i obradcima uvelike ovise o pokretima unutar radnog prostora. Potrebno je odrediti osnovnu razliku između pomoćnih i radnih gibanja osi obradnog stroja. Jedan od novijih pristupa automatizaciji procesa obrade, posebno obradaka kompleksne geometrije, je kombiniranje operacija rukovanja i obrade. Cilj je smanjiti prekomjerne stupnjeve slobode obradnog stroja analizirajući dostupne stupnjeve slobode sustava za rukovanje alatima i obradcima. Ako su osi translacijskog ili rotacijskog gibanja prisutne u željenom konceptu obradnog stroja, potrebno je provjeriti može li ih se ujedno upotrijebiti i za zadatke rukovanja. Zadaci rukovanja de se u pravilu odvijati u vanjskim područjima radnog prostora obradnog stroja i zahtjevi će biti više usmjereni prema velikom radijusu djelovanja nego visokoj krutosti. Obradni strojevi već posjeduju visoku točnost ponavljanja unutar radnog prostora, tako da bi male promjene kako bi se povećao radni radijus mogle poboljšati svojstva obradnog stroja, te ujedno izbjeći vanjska rješenja za rukovanje. [2]

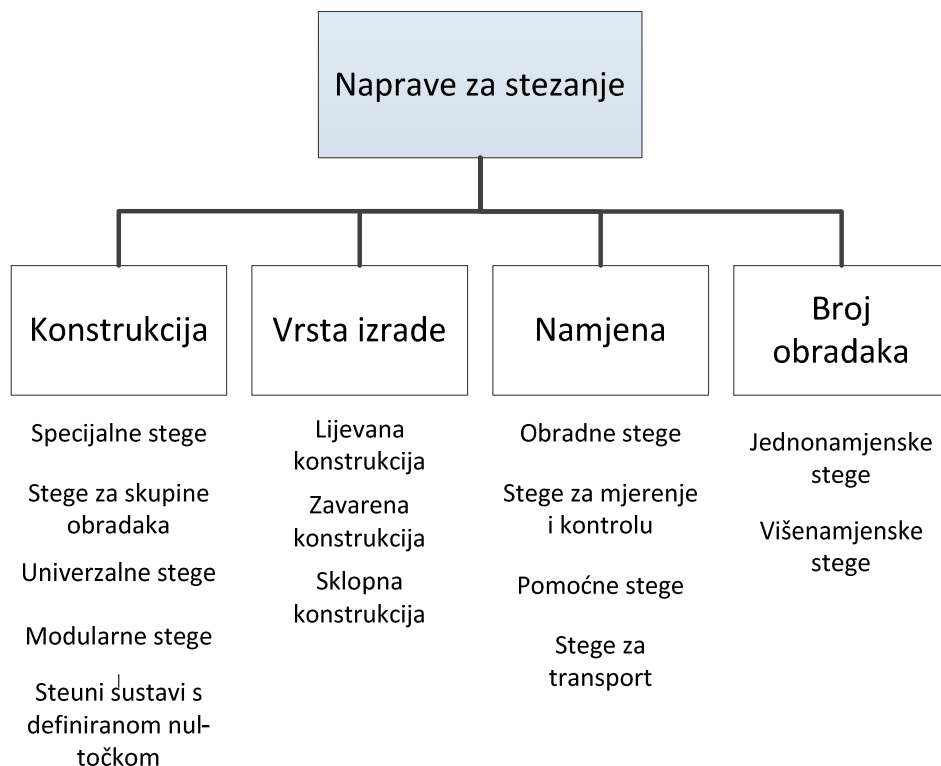
## 2. RUKOVANJE OBRATCIMA

Namjena sustava za rukovanje obratcima je da se jedan obradak (ili više njih) preuzme iz skladišta sirovaca i transportira do obradnog stroja, premjesti u radni prostor obradnog stroja te ga tamo prihvati i zadrži u zadanom položaju pod utjecajem sila obrade. Po završetku obrade potrebno je obaviti sličan postupak koji će se sastojati od preuzimanja obratka iz radnog prostora, transportiranja do sljedećeg obradnog stroja ili u skladište gotovih proizvoda, te premještanja i stezanja/skladištenja obratka. Postupak rukovanja obratcima može se, prema napravama koje ga izvršavaju, podijeliti na tri vrste zadaća:

1. prihvati (stezanje) i pozicioniranje obradaka
2. izmjena obradaka
3. preuzimanje, transport i skladištenje obradaka

### 2.1. Prihvati obratka

Stega su naprave za prihvat i fiksiranje jednog ili više obradaka na stol obradnog stroja koje se koriste tijekom operacija montaže, deformiranja, zavarivanja i obrade odvajanjem čestica [2]. Naprava za stezanje mora zadržati obradak u zadanom položaju radnog prostora obradnog stroja pod utjecajem sila obrade. Također mora osigurati zadanu toleranciju kod ponovnog stezanja. Na Slika 3 prikazana je podjela naprava za stezanje po načinu konstruiranja, vrsti izrade, namjeni, te broju obradaka. [4]



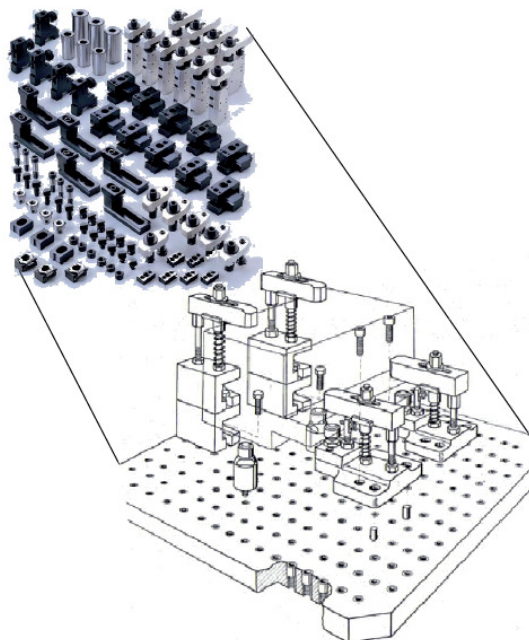
**Slika 3. Osnovna podjela naprava za stezanje [4]**

*Specijalne stege* imaju karakteristiku kompaktnih dimenzija, no bez mogućnosti prilagodbe jer su namijenjene za točno određeni oblik obratka i pripadajuće operacije koje će se nad njime izvršiti. Pogodne su za veće serije, omogućavaju veću točnost, kraće vrijeme obrade, bolje prigušenje vibracija, no karakteriziraju ih i visoka cijena izrade te nefleksibilnost. [4]

*Stezne naprave za skupine obradaka i univerzalne stege* pružaju mogućnost rekonstrukcije za obratke slične geometrije te sa sličnim obradnim zahtjevima. Prilagodba različitim obratcima izvodi se promjenom funkcionalnih elemenata naprave kao što su elementi za pozicioniranje, elementi za upinjanje i dr. Imaju osobine relativno manje točnosti, uz veću fleksibilnost, kraće vrijeme prilagodbe i nižu cijenu. Upotrebljavaju se kod maloserijske i srednje serijske proizvodnje. [4]

*Modularne stege*, prikazana na Slika 4, se koriste za stezanje kompleksnih obradaka. Sastoje se od temeljnih ploča (e. *base plates*), vertikalnih temeljnih ploča (e. *tombstones*), te dodatnih dijelova za stezanje i pozicioniranje. Točnost ovakvih naprava je u rasponu od 0,01 mm do 0,03 mm. Velika prednost ovih modularnih sustava je njihova fleksibilnost i niski

investicijski troškovi, no zahtijevaju dosta ručnog rada, što podrazumijeva i dugo vrijeme namještanja. [2]

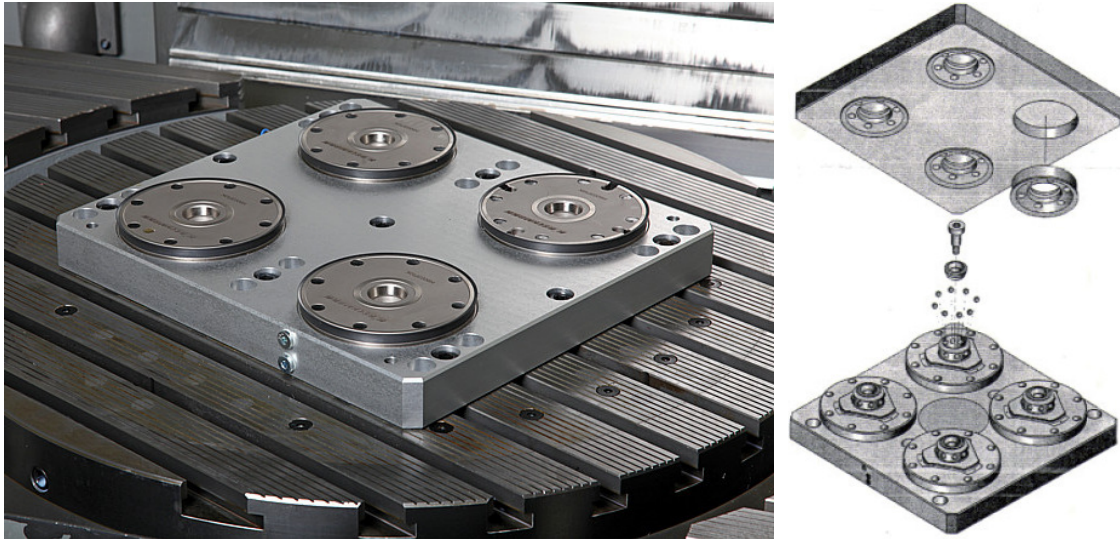


**Slika 4. Modularna stega i dodatni dijelovi [2]**

Stezni sustav s definiranom nul-točkom obratka, prikazan na Slika 5, pružaju točno i ponovljivo stezanje radnog komada. Korištenjem ovog sustava obratci se mogu postaviti i premještati iz jednog obradnog stroja u drugi uz minimalno ponovno stezanje i pozicioniranje. Više o ovim steznim sustavima u poglavlju 3.

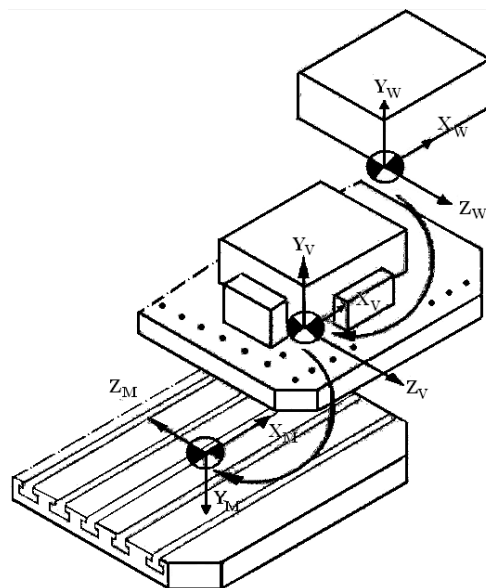
Pozicioniranje obratka jedna je od osnovnih značajki stezne naprave. Pozicioniranje obratka predstavlja važnu funkciju kod postavljanja obratka na točno određeni položaj u steznoj napravi. Jednako tako postupamo pri određivanju položaja stezne naprave unutar obradnog stroja. Pozicioniranje je definiran i za obradu određen položaj obratka u steznoj napravi ili na radnoj plohi obradnog stroja. [4]





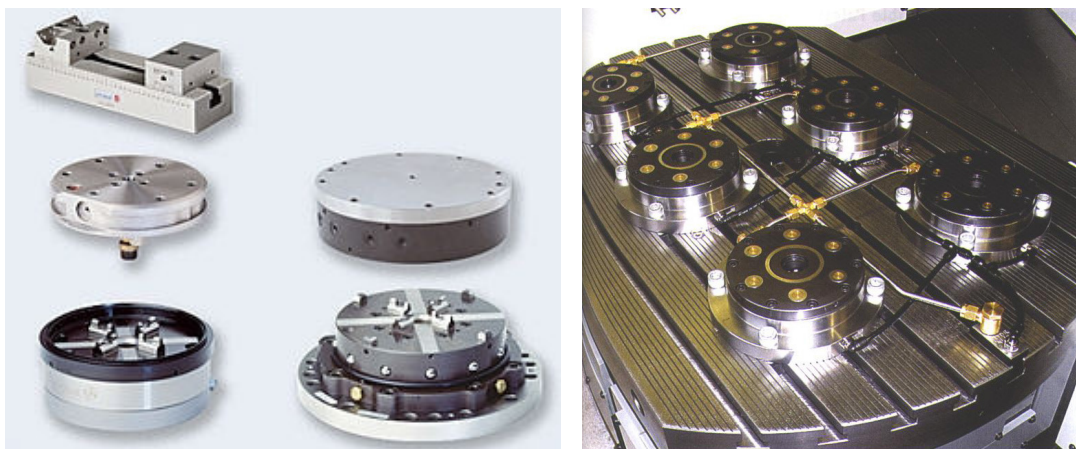
Slika 5. Stezni sustavi s definiranom nul-točkom [2][5]

Elementi ostvarivanja pravilne pozicije obratka u steznoj napravi najčešće su različiti nasloni, čepovi, zatici, konusi, prizme, paralelne ravnine, vodilice, itd. Na Slika 6 prikazano je pozicioniranje i postavljanje obratka u steznu napravu i na radnu paletu, te postavljanje palete na radni stol. Obradak, paleta i stol imaju vlastita ishodišta. [4]



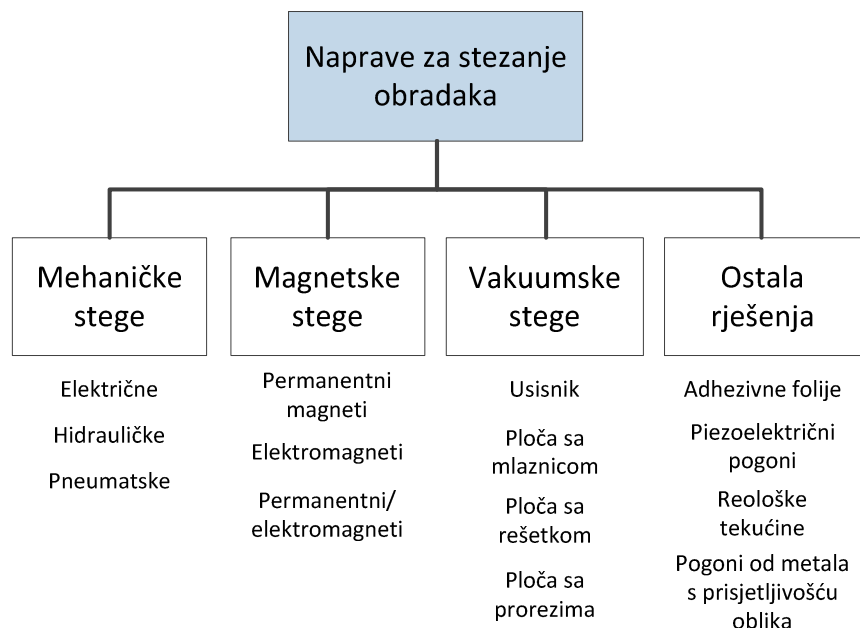
Slika 6. Pozicioniranje obratka na radni stol obradnog stroja [4]

Standardizirano sučelje između radnog stola obradnog stroja i stezne naprave omogućava fiksno pozicioniranje, skidanje te repositioniranje bez ponovnog umjeravanja. Takav sustav, prikazan na Slika 7, sastoji se od dva dijela, prvog koji je fiksno vezan za radnu ploču stola i drugog vezanog za steznu napravu. Tako izveden koncept modularnosti obradnog stroja pruža veću fleksibilnost, sigurnost pozicioniranja i stezanja, skraćuje vrijeme prijelaza na novu seriju obradaka ili vraćanja na prethodnu uz skraćivanje pomoćnih vremena i prazni hod te produžuje vijek trajanja obradnog stroja. [4]



**Slika 7. Prihvat za stezne naprave na radnoj plohi stola [4]**

Stezanje obratka također je jedna od osnovnih značajki steznih naprava. Zbog velike raznolikosti topologije obradaka, najčešći način stezanja je primjenom sile koja se može primijeniti upotrebom mehanički, hidraulički ili pneumatski pokretanih uređaja. Iz istog razloga razvijene su i mnoge različite naprave za obavljanje ovih zadaća. Također se koriste i neka druga fizikalna svojstva. Magnetske stege koriste magnetsku silu koja se razvija između permanentnog magneta ili elektromagneta i metalnog obratka. Vakuumske stege koriste adhezijske sile koje se razvijaju uslijed vakuuma između stege i obratka. Na Slika 8 prikazana je podjela steznih naprava i fizikalnih principa na kojima su temeljene danas korištene stezne naprave [2]:



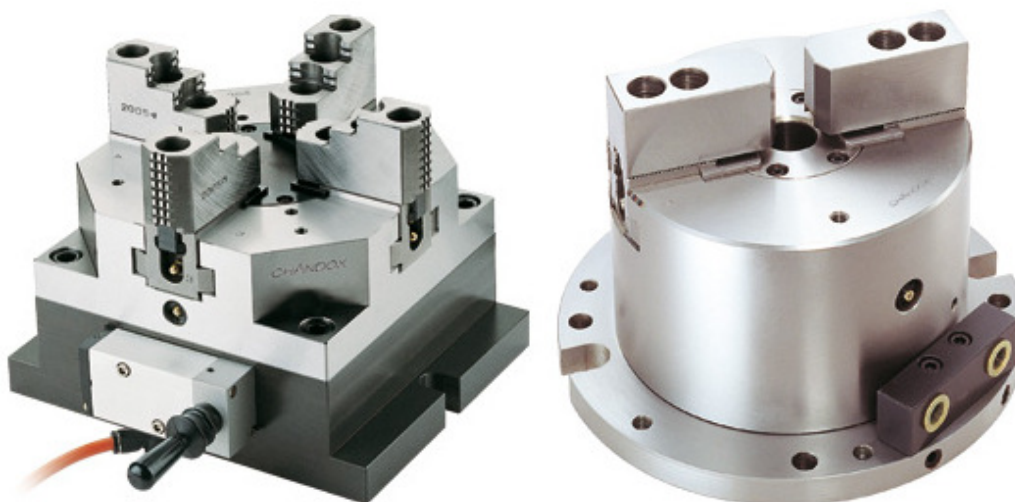
**Slika 8. Podjela steznih naprava prema principu prihvata [2]**

Propisana točnost izrade ne ovisi samo o pozicioniranju i postavljanju, već i o pravilnom stezanju obratka. Da bi zadržali pravilan položaj tijekom obrade, mehaničke stege koriste sile stezanja ostvarene preko steznih elemenata. Sila stezanja mora biti jednoznačno određena, mora joj biti poznat smjer i hvatište, tako da se mogu odrediti njene komponente. Sila stezanja ne smije biti ni prevelika zbog deformacije obratka, niti premala jer bi se pri obradi obradak pomaknuo. Prevelik tlak na potpurnu površinu stezne naprave može prouzročiti otiske i deformaciju, preveliko naprezanje u obratku zbog neprikladne konstrukcije obratka ili principa stezanja ima pak za posljedicu netočne mjere i oblik obratka, dok prevelika sila stezanja ili rezanja može dovesti do trajnih deformacija obratka i netočnosti. Sila stezanja ne smije biti jednaka ili manja od sile rezanja i mora obuhvaćati sve smjerove sile obrade, tako da se obradak ne može pomaknuti ili prevrnuti. [4]

U nastavku su prikazani primjeri steznih naprava koje koriste različite principe stezanja, tj. prihvata obradaka za obradu.

### 2.1.1. Pneumatske stezne naprave

Pneumatski elementi imaju sve veći udio u izradi steznih naprava budući omogućavaju automatizaciju te lakši i brži rad. Osnovni dio jest pneumatski cilindar s jednostranim ili dvostranim djelovanjem. Primjeri pneumatskih steznih naprava prikazani su na Slika 9 [4]:



Slika 9. Pneumatske stezne naprave [6]

Prednosti upotrebe pneumatskih steznih naprava [4]:

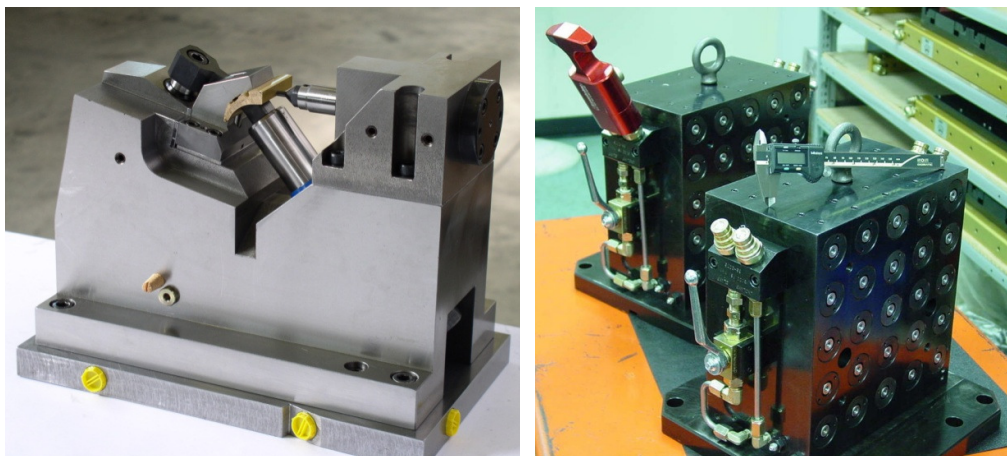
- jednostavna upotreba i održavanje, dobro stezanje sa silama i do 30 000 N kod radnog tlaka od 6 bara.
- brzo stezanje i otpuštanje (40-70 m/s) u kratkom vremenu (10 ms), uz veliku frekvenciju uključivanja (50 Hz). Velika izdržljivost (106 do 108 uključivanja i isključivanja). Jednostavna regulacija brzine i sile stezanja, veliki hod klipa (do 2000 mm).
- mogućnost ugradnje u modularni sustav stezne naprave, mogućnost linearnog i kružnog gibanja.

Nedostaci upotrebe pneumatskih steznih naprava:

- za relativno veliku silu stezanja potrebni su veliki promjeri cilindara.
- velika trenutna dobava zraka iz zračnog sustava.
- netočnost steznog hoda zbog stlačivosti zraka.

### 2.1.2. Hidrauličke stezne naprave

Upotreba komprimiranog zraka ograničena je jer se za velike sile stezanja moraju koristiti veliki promjeri cilindara. Zato se za velike sile stezanja (do 700 000 N) koriste hidraulični sustavi Slika 10 s tlakom od 80 bara naviše. Cilindri su standardizirani pa ih lako kombiniramo s raznim alatima za stezanje. [4]



**Slika 10. Hidrauličke stezne naprave [4]**

Prednosti upotrebe hidrauličkih steznih naprava su:

- jednostavna regulacija i velike sile stezanja
- promjeri cilindara od 20-60 mm omogućavaju kompaktnu konstrukciju
- radni medij je ulje stoga nije potrebno dodatno podmazivanje
- nema kondenzacije vode niti štetnih posljedica korozije
- elastično stezanje
- točnost stezanja je veća nego kod pneumatskih steznih naprava

Nedostaci upotrebe hidrauličkih steznih naprava:

- visoka cijena
- potreban prostor za hidraulični agregat
- potrebni povratni vodovi za odvod hidrauličnog medija
- ulje je zapaljivo, a zbog starenja je potrebna česta zamjena

### 2.1.3. Magnetske stezne naprave

Magnetske stege se ovisno o načinu dobivanja magnetizma mogu podijeliti na nekoliko vrsta: *elektro-magnetske*, *permanentne* i *elektro-permanentne stege*. Elektro – permanentne stege prvi puta su razvijene 1963. godine i odonda su se konstantno razvijale kako bi postale veoma snažne, pouzdane i robusne magnetske stege. Dva danas najčešće korištena tipa elektro – permanentnih stega su [7]:

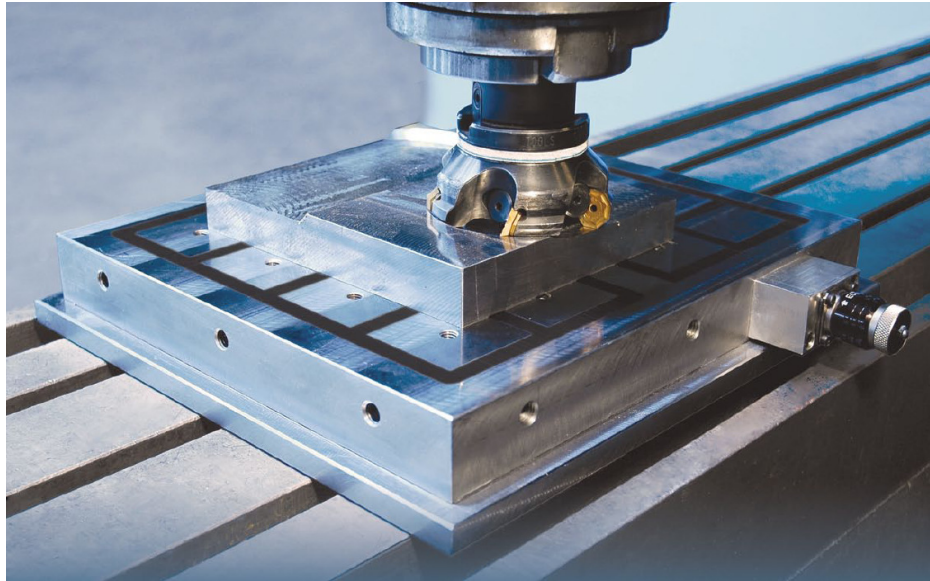
- **Sustav s potpunom demagnetizacijom** – Magnetiziranje se postiže jednim strujnim impulsom, dok se stega demagnetizira alternirajućim strujnim impulsima, što rezultira potpunom demagnetizacijom stega i obradaka.
- **Kompenzacijski sustav** – Magnetiziranje i demagnetiziranje se oboje postižu jednim strujnim impulsom kojim se stega u potpunosti demagnetizira, no neke komponente izrađene od alatnog čelika mogu sadržavati zaostali magnetizam.

Elektro – permanentne magnetske stege koje za magnetizaciju i demagnetizaciju koriste strujne impulse su [8]:

- sigurne – namagnetizirana stega ne može se demagnetizirati ukoliko dođe do gubitka izvora električne energije
- snažne – upotreba najefikasnijih permanentnih magneta
- točne i robusne – ne sadrže pokretne dijelove
- ekološke – nema kontinuirane potrošnje energije

Prednosti upotrebe magnetskih stega uključuju i smanjenje pripremnih vremena i smanjenje oštećenja obradaka uslijed djelovanja stega. U određenim slučajevima magnetske stege mogu pružiti veću silu stezanja nego što je pružaju klasične stege. No magnetske stege su isto tako veoma ograničene, budući se mogu koristiti samo za stezanje feritnih materijala. Na Slika 11 prikazan je primjer elektro – permanentne magnetske stega namijenjene primjeni na sustavima za obradu odvajanjem čestica.





Slika 11. Magnetska stezna naprava za obradne sustave [7]

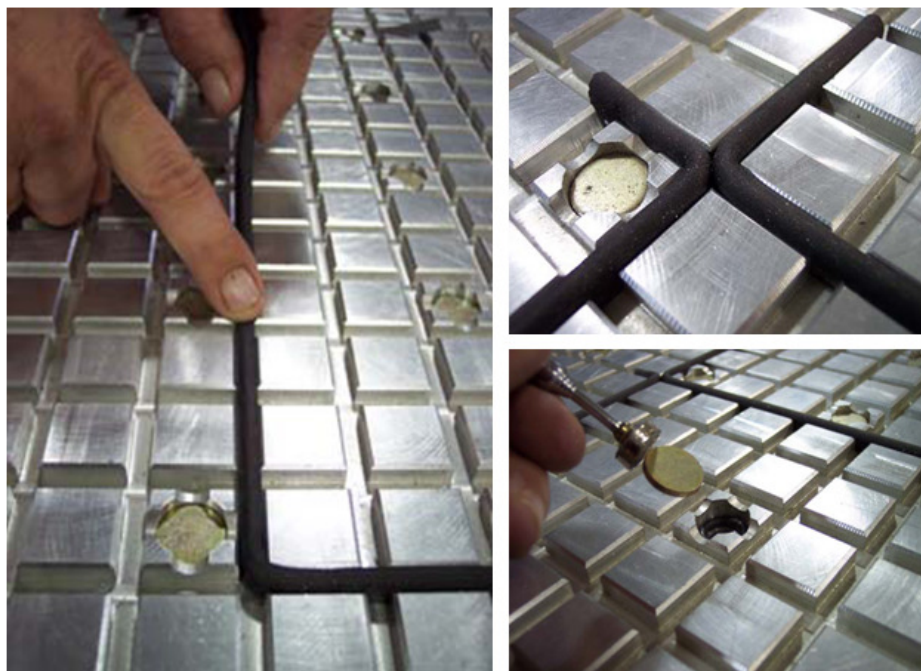
#### 2.1.4. Vakuumske stezne naprave

Vakuumske stezne naprave sastoje se od dva osnovna dijela: vakuumskog stola i vakuum pumpi Slika 12. Vakuumski stolovi su u pravilu načinjeni od ploča aluminija koje po sebi sadrže usisne kanale za protok zraka.



Slika 12. Vakumski stol i oprema [8]

Većina vakuumskih stolova u sebi ima urezane brazde u koje se umeću gumene trake koje služe za brtvljenje dijela stola na kojemu će se nalaziti obradak. Kada su brtve postavljene, na tom dijelu je potrebno otvoriti usisne kanale te postaviti obradak tako da svojom donjom plohom u potpunosti prekriva zabrtvljenu površinu. Uključenjem vakuum pumpe obradak će biti stegnut za stol sve dok je u zabrtvljenom području stola ostvaren podtlak, a razinom podtlaka će se određivati snaga stezanja. Postavljanje brtvi na vakuumski stol i otvaranje potrebnih usisnih ventila prikazuje Slika 13. [9]



**Slika 13. Postavljanje brtvi i otvaranje usisnih kanala [10]**

Vakumske stezne naprave primarno se koriste za stezanje neferitnih materijala kao što su bakar, bronce, aluminiј, titan, plastika ili kamen. Vakuumske stezne naprave su veoma praktično i brzo rješenje za stezanje raznolikih obradaka, no uz svoje brojne prednosti posjeduju i neka ograničenja:

- donja površina obradaka mora biti posve ravna i što glađa
- obradak ne smije biti od poroznog materijala
- otežano stezanja jako malih obradaka
- potreban veći podtlak kod obrade visokih dijelova.

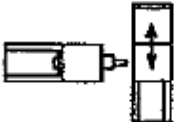
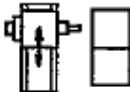
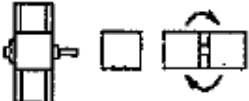
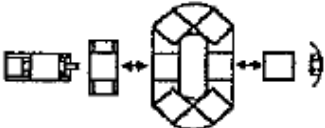
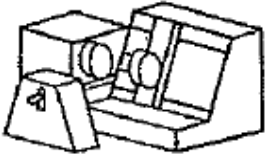
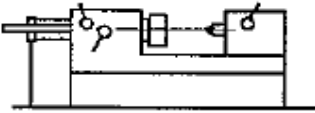


## 2.2. Izmjena obratka

Način izmjene obradaka uvelike utječe na izgled i trajanje cjelokupnog proizvodnog procesa. Načini izmjene obradaka prikazani su u Tablica 1. Klasična izmjena obradaka sastojala se od ručnog postavljanja i stezanja obradaka koje je bilo vremenski nestalno i zahtijevalo stalnu prisutnost operatera. Automatska izmjena obradaka omogućuje skraćenje pomoćnog vremena i autonomnost procesa, tj. rad bez operatera u višesmjenskom radu uz konstantnu učinkovitost. Time se povećava iskorištenje i proizvodnost fleksibilnih obradnih sustava. Automatsko ulaganje i izmjena obradaka najčešće se izvodi [11]:

- pomoću paleta (najčešće za prizmatične obratke)
- pomoću robota ili manipulatora (najčešće za simetrično okrugle obratke)
- automatskim vođenjem šipkastog materijala kod tokarskih centara

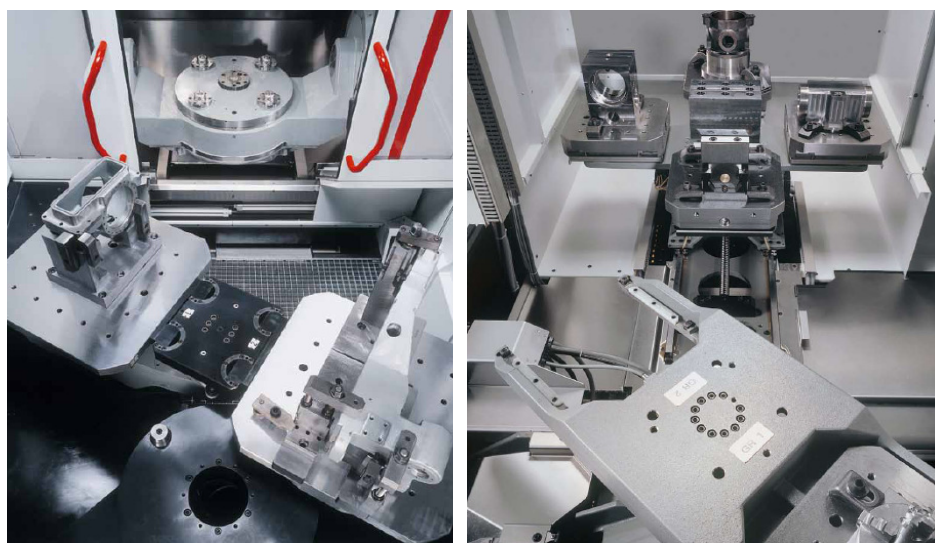
**Tablica 1. Načini izmjene obradaka i kriteriji primjene [11]**

Način izmjene obratka	Primjer	Kriterij primjene
Gibanje stola		<ul style="list-style-type: none"> <li>- mali stolovi</li> <li>- bez automatskog povezivanja</li> </ul>
Gibanje vreteništa		<ul style="list-style-type: none"> <li>- veliki stolovi</li> <li>- teški sirovci</li> <li>- bez automatskog povezivanje</li> </ul>
Izmjena paleta - OMDS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- za uklapanje u automatski transportni sustav</li> </ul>
Paletno spremište		<ul style="list-style-type: none"> <li>- korištenje obradnog stroja u više smjena</li> </ul>
Izmjena obradaka robotom ili manipulatorom		<ul style="list-style-type: none"> <li>- automatsko ulaganje okruglih sirovaca</li> <li>- ograničenje s obzirom na jednake dijelove</li> </ul>
Automatsko vođenje šipke		<ul style="list-style-type: none"> <li>- dijelovi koji se tokare iz šipke</li> </ul>

### 2.2.1. Izmjena obradaka pomoću paleta

Raznolikost naprava za izmjenu obradaka korištenih u industrijskim primjenama je ogromna. Razlog tome nije samo velika raznolikost oblika obradaka nego i mogućnost primjene nosača obradaka kao što su palete. Palete predstavljaju osnovni element koji povezuje sve ostale elemente paletnog sustava, pri čemu je jedna od njihovih velikih prednosti mogućnost korištenja kako za rukovanje i pridržavanje obradaka tijekom obrade, tako i za skladištenje gotovih dijelova. [2][4]

Najveće skraćenje pomoćnog vremena se može postići ulaganjem sirovaca i odlaganjem izradaka s palete za vrijeme rada obradnog stroja, te ako paleta s obratkom čeka u međufaznom spremištu, kako bi u veoma kratkom vremenu od šest do petnaest sekundi bila zamijenjena. Uporaba paleta pri automatskoj izmjeni obradaka Slika 14 prikladna je za sve vrste obradaka prizmatičnih oblika, te plošnih oblika s dosta obradnih površina. Takvim načinom ponekad se rješava i izmjena malih prizmatičnih dijelova, na način da ih se veći broj istovremeno prihvaćana paletu. Kod malih i srednjih obradaka rotacionog i nepravilnog oblika izmjena se vrši posredstvom manipulatora i robota. [11]



Slika 14. Izmjena paleta okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom [12]

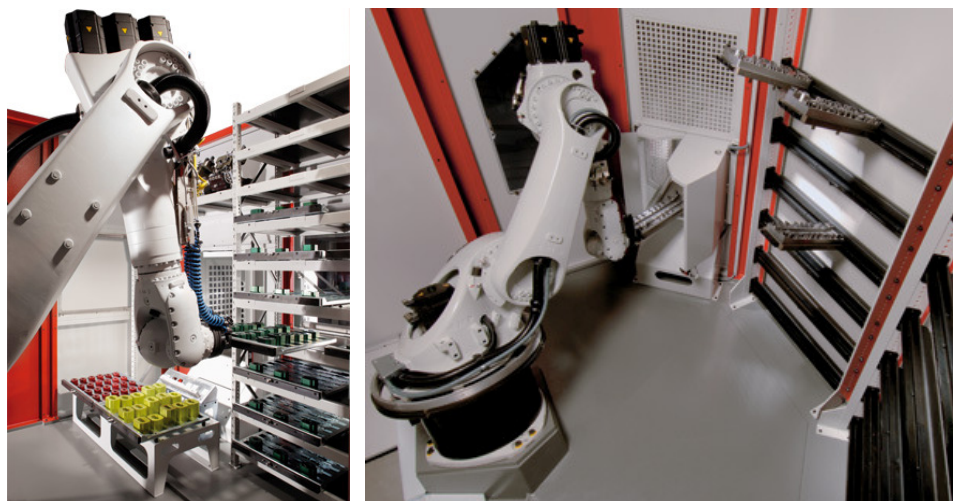
### 2.2.2. Izmjena obradaka pomoću robota i manipulatora

Sve izraženiji zahtjevi za fleksibilnošću obradnih sustava su, s obzirom na zahtijevani minimum kapitalnih investicija, izbacili robote i manipulatore u prvi plan kao najpogodnije rješenje za automatizaciju izmjene obradaka kod proizvodnje u malim serijama. Njihova sposobnost i brzina prilagodbe različitim oblicima, veličinama i težinama te mogućnost premještanja presudni su faktori kod odabira takvih sustava.[4]

Općenita definicija robota jest da je robot multifunkcionalni manipulator s mogućnošću reprogramiranja, a predviđen je da prenosi obratke, alate ili posebne naprave kroz različite programirane pokrete u svrhu ispunjavanja različitih zadataka. Primjeri primjene robota za rukovanje obradcima prikazani su na Slika 15. [4]

Glavne značajke robota su da je:

- upravljan računalom
- ima više od dva stupnja slobode gibanja
- opremljen hvataljkom, alatom ili senzorom



Slika 15. Primjeri Hermle sustava za rukovanje obradcima Kuka robotima [12]

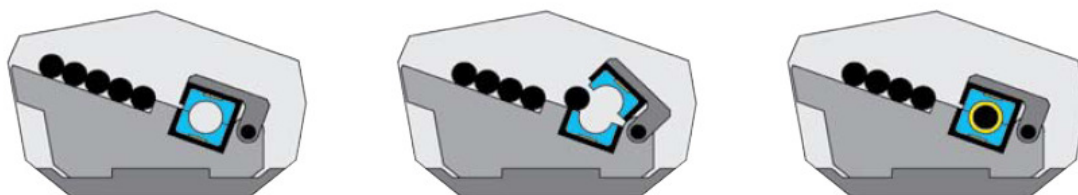
### 2.2.3. Ulaganje sirovca šipkastog oblika

Za ulaganje sirovca šipkastog oblika koji mogu dostizati i preko 7 m duljine, standardni sustavi posluživanja obradnih strojeva u praksi nisu zadovoljavajući. Stoga su razvijeni posebni automatski sustavi za takve obratke koji se najčešće koriste kod obrada tokarenja te piljenja na određenu duljinu za dalju obradu. Takav stroj za ulaganje prikazan je na Slika 16. [4]



**Slika 16. Stroj za ulaganje EDGE Minuteman [13]**

Ovakvi sustavi, prikazani na Slika 17 se sastoje od spremnika sa sirovcima u obliku kosine ili rampe na koju poslužitelj ulaže sirovce, uz koje u pravilu stoji elevator za lakše podizanje na visinu (najčešće kazete sa šipkastim obratcima). Iz spremnika se obratci ulažu u vodilice gravitacijski ili pomoću pogona (najčešće pneumatskog) te se preko motornog pogona s lančanicom ili remenom uvlače u obradni stroj gdje se pozicioniraju i stežu. Ovi uređaji posjeduju i senzorski sustav za prepoznavanje položaja šipkastog obratka kao i opciju oslonca između punjača i obradnog stroja. [4]



**Slika 17. Umetanje šipki u stroj za ulaganje [13]**

Sirovci mogu biti različitih presjeka tako da rampa i vodilice moraju posjedovati mogućnost prilagodbe oblikom radi pravilne orijentacije s obzirom na prihvata ili steznu napravu stroja. Stoga su sustavi za automatizirano ulaganje sirovca šipkastog oblika fleksibilne izvedbe najčešće za familije obradaka sličnog oblika ili veličine. [4]

Drugi način izvedbe ovog stroja jest vođenjem šipkastog materijala kroz glavno vreteno obradnog stroja. Primjer takvog stroja prikazan je na Slika 18. Prilikom izmjene obradaka prvo se zaustavlja glavno vreteno, zatim uređaj na revolver glavi stroja prihvaća šipku. Nakon otpuštanja šipke u steznoj glavi slijedi izvlačenje šipke, te ponovno stezanje. Revolver glava se izmiče, nakon automatske izmjene alata nastavlja se obrada koja završava odrezivanjem obratka od ostatka šipkastog materijala.



**Slika 18. Stroj za izmjenu obradaka vođenjem šipke kroz glavno vreteno [14]**

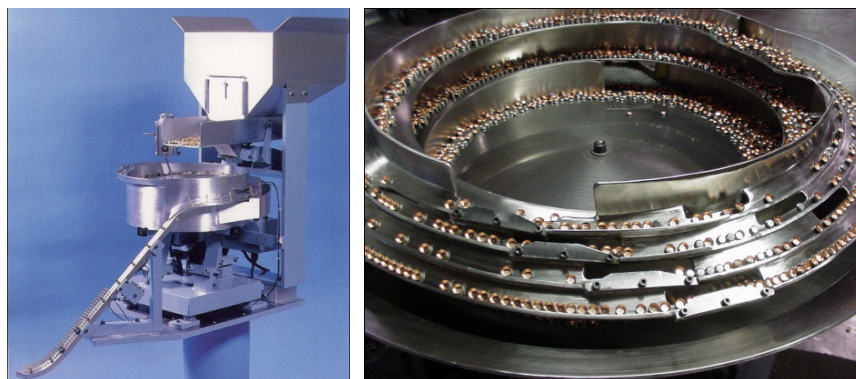
### 2.3. Preuzimanje, transport i skladištenje obradaka

Nakon što su osigurani mehanizmi za izmjene obradaka, kako bi se omogućila daljnja automatizacija procesa proizvodnje potrebno je na odgovarajući način riješiti i pomoćne sustave za transport obradaka od skladišta do obradnih strojeva, između obradnih strojeva, te od obradnih strojeva do skladišta gotovih proizvoda. U današnje vrijeme ovisno materijalu, obliku, dimenzijama te zahtjevima kvalitete koji se postavljaju na obradak, postoji velik broj automatiziranih mehanizama za transport obradaka, kao što su [9]:

- vibro dodavači
- konvejeri i transportne linije
- automatski vođena vozila

#### 2.3.1. Vibrododavači

Vibrododavači se najčešće koriste za manje obratke i brzu dobavu. Obratci se smještaju u centrifugalnu zdjelu prikazanu na Slika 19, transportiraju se rotirajućim diskom na vanjski spiralni prsten kojim se gravitacijski vrši odabir i orijentacija. Dobava je konstantna, isti dodavač može vršiti dobavu različitih obradaka, brzina vibratora može biti varijabilna, izmjenom zdjele postiže se fleksibilnost, a najčešće izvedbe su elektro-vibrododavači. Obratci iz vibrododavača najčešće se transportiraju do sustava za izmjenu obradaka različitim konvejerima ili vibrirajućim trakama. [4]

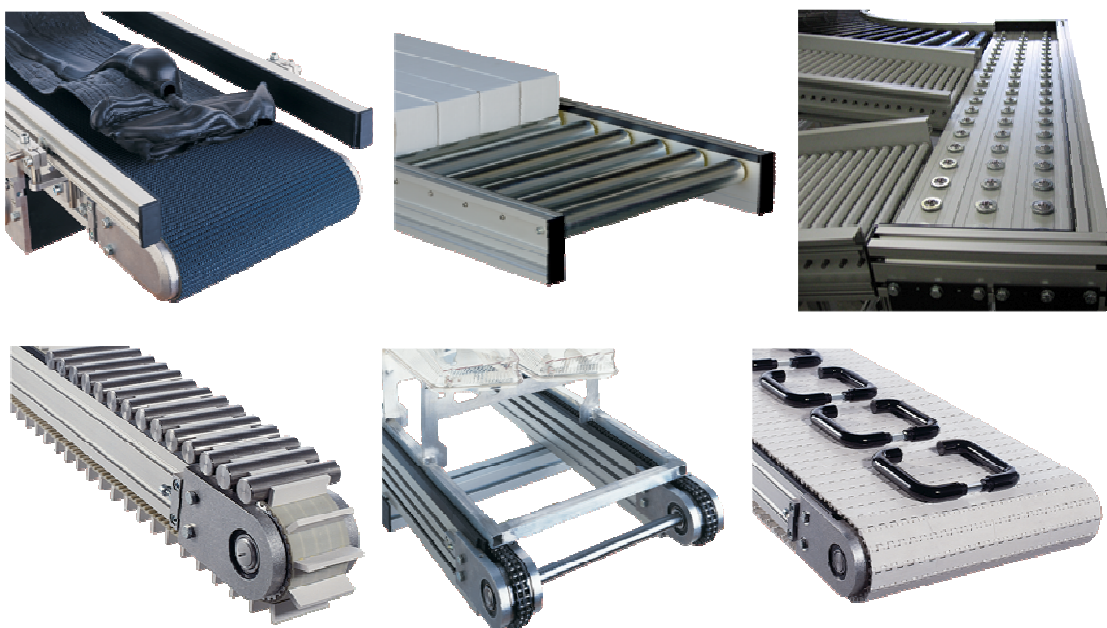


Slika 19. Vibrododavači [15]



### 2.3.2. Konvejeri i transportne linije

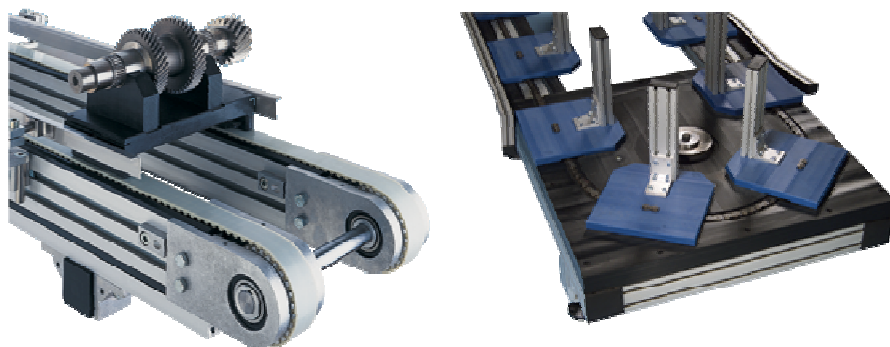
Konvejeri su mehanički sustavi za rukovanje obradcima koji osiguravaju kontinuiranu dobavu obradaka unutar sustava. Posebno su korisni kod transporta velikih i glomaznih predmeta, ali omogućavaju i veoma brz i efikasan transport manjih predmeta. Ovisno o području primjene, dostupan je velik broj rješenja prijenosnih mehanizama konvejera: pomoću traka, valjaka, kuglica, klinastih remena, lanaca, plastičnih elemenata, itd. Prijenosni mehanizmi prikazani na Slika 20. Gibanje obradaka duž konvejera može se ostvariti pomoću gravitacije (linije sa slobodno rotirajućim elementima postavljene pod određenim kutom) ili upotrebom linija s pogonjenim elementima. Konvejeri mogu biti opremljeni sustavima kontrole kao što su senzori, kamere i dr., sustavima za brojenje ili pozicioniranje pomoću električnih ili pneumatskih uređaja (rotacijskih, linearnih). [9]



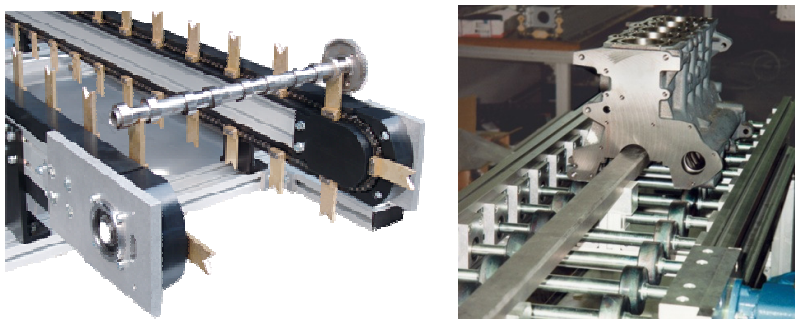
**Slika 20. Različiti prijenosni elementi konvejera: a) trake, b) valjci, c) kuglični elementi, d) klinasti remen, e) lanci, f) plastični elementi [16]**

U konvejere se mogu integrirati i palete s obradcima, pozicionirane za pouzdan prihvata od strane manipulatora/robota. Karakteristike su im ekonomičnost, fleksibilnost, brzina i

količina dobave, mogućnost proširenja sustava i jednostavno održavanje. Postoje i specijalne izvedbe konvejera prikazane na Slika 21 prilagođene prihvatu i transportu paleta ili pojedinih proizvoda, prikazane na Slika 22. [9]



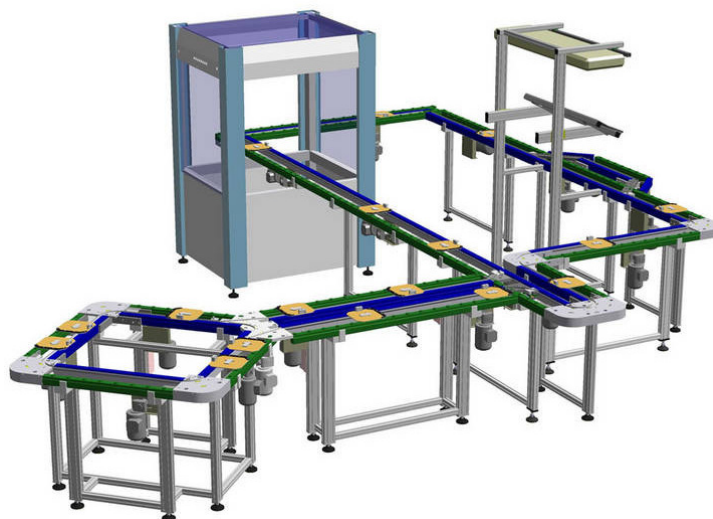
**Slika 21. Konvejeri za prijevoz paleta [16]**



**Slika 22. Specijalne izvedbe konvejera [16]**

Od standardiziranih elemenata kao što su pogon, transportne linije, palete, kutni moduli, sustavi za indeksiranje, podizanje i pohranu paleta mogu se načiniti i jednostavno modificirati različite transportne linije, prikazana na Slika 23 ovisno o namjeni i postavljenim zahtjevima. [4]





Slika 23. Fleksibilna transportna linija [4]

### 2.3.3. Automatski vođena vozila

Automatski vođena vozila (e. *automatic guided vehicles* - AGV) su pokretni roboti, najčešće pogonjeni pomoću električnih motora, a napajani pomoću baterijskih izvora energije. U industrijskim okruženjima svoju primjenu nalaze u prijenosu tereta koji se kreću od kutija, preko paleta pa sve do čeličnih namotaja, pri čemu povećavaju efikasnost i smanjuju troškove proizvodnje time što omogućavaju veći stupanj automatizacije cjelokupnog proizvodnog sustava. [9]

AGV-ovi mogu biti korišteni za transport raznovrsnih tereta u različitim stadijima proizvodnje. AGV-ovi tako mogu prevoziti sirovce iz skladišta do obradnog stroja, obratke između obradnih strojeva, rukovati paletama, gotovim proizvodima, namotajima, te skladištiti ili utovarivati dijelove na sredstva za daljnji transport. Prikladni su za primjenu na zadacima koje posjeduju sljedeće karakteristike [9]:

- ponavljajuće pokrete materijala na određenim udaljenostima
- redovita dostava stabilnih tereta
- srednje veličine vrijednosti propusnosti po volumenu
- pravovremena dostava je od kritične važnosti
- operacije s barem dvije smjene
- procesi u kojima je bitno praćenje materijala

Ovisno o vrsti tereta i načinu prihvata, postoji više vrsta AGV-ova. Tako primjerice razlikujemo AGV-ove predviđene vuči tereta s mogućnošću samostalnog spajanja prikolice, pri čemu prikolice mogu služiti za transport sirovaca ili gotovih proizvoda. Obratci se na AGV mogu smjestiti na razne vrste prihvata pomoću paleta, rola ili vodicica koje olakšavaju automatizaciju u jednom izvedbi, dok su druge vrste izvedene u obliku viljuškara i posjeduju mogućnost podizanja obradaka radi preuzimanja i pohrane. Na Slika 24 prikazane su neke od različitih izvedaba AGV-ova. [17]



**Slika 24. AGV-ovi različitih namjena: a) prijevoz namotaja, b) izvedba s konvejerom, c) viljuškar, d) vuča tereta [17]**

Neki od načina na koji se može voditi AGV su [17]:

- **Laserom** – laserski senzor mjeri kut i udaljenost od reflektivnih naprava smještenih na stupove i obradne strojeve. Primjena lasera pruža maksimalnu fleksibilnost i jednostavne promjene putanje bez potrebe za isključivanjem sustava. Lasersko vođenje pruža neprestano preračunavanje položaja vozila,

visoku otpornost na pogrešne refleksije i visoku točnost određivanja pozicije, te omogućava brzine vozila do 2-3 m/s.

- **Inercijski** – inercijski sustav vođenja sličan je tehnologiji korištenoj u komercijalnim zrakoplovima i vojnim navođenim raketama. Ugrađeni računalni sustav koristi oznake ugrađene u pod kako bi raspoznao točan položaj, što omogućuje funkcioniranje vozila u gotovo svim okruženjima, uključujući visoke temperature, uske hodnike i otvorene prostore.
- **Žicom** – sustavi vođenja žicom su slični inercijskim sustavima, samo što za razliku od inercijskih sustava koji koriste žiroskope, vođenje žicom koristi setove zavojnica kako bi pratile nisko-frekventne signale koji se šalju po žicama ugrađenim u pod. Iako je ovo star princip, zbog svoje točnosti, pouzdanosti i niske cijene u određenim primjenama se koristi još i danas.
- **Magnetskom trakom** – sustavi vođenja magnetskom trakom su najisplativiji i najfleksibilniji načini vođenja. Magnetske trake se postavljaju na pod čime se izbjegava rezanje i bušenje, te omogućava brzu promjenu putanja.

### 3. PALETNI SUSTAV

Paletni sustav jest sustav za izmjenu obradaka unutar jednog ili između više obradnih strojeva, pri čemu je obradak stegnut na paletu. Izmjena paleta može se vršiti ručno ili biti automatizirana. Paletni sustav se sastoji od paleta, držača paleta na obradnom stroju (prihvat palete), uređaja za izmjenu paleta, spremišta paleta, te transportnog sustava paleta. Paletni sustav izvršava: prihvat i pozicioniranje obratka na paletu, pridržavanje palete u radnom prostoru obradnog stroja, izmjenu paleta, te transport i skladištenje paleta.

Korištenjem elemenata paletnog sustava omogućeno je znatno smanjenje vremena prekida rada obradnog stroja zbog izmjene obratka. Bez obzira na način izmjene palete (ručno ili automatski), svi elementi paletnog sustava moraju biti građeni na principu modularne gradnje i moraju biti međusobno zamjenljivi. [11]

Karakteristike i tehničke prednosti paletizacije [11]:

- pozicioniranje bez posmaka za vrijeme procesa obrade,
- točno određivanje pozicije palete na nosaču palete,
- visoka ponovljiva točnost pozicioniranja ( $<0,005$  mm),
- dovoljno dobro određivanje središta paleta i stola kod prihvata na okretni stol robokolica ili spremišta,
- mala odstupanja kod temperaturne razlike,
- simetričnost, radi uvođenja palete s obje strane,
- sve površine toplinski su obrađene radi trajnosti,
- čišćenje svih referentnih površina zrakom,
- referentne točke pod T utorima,
- nedeformiranje kod pritezanja,
- velika krutost priteznog sustava kod djelovanja promjenjivih sila,
- pozicioniranje preko konusnog zatika,
- kontrole točnosti postavljanja palete,
- palete se osim za stezanje koriste i za izmjenu, transport i skladištenje obradaka.

Na automatsku izmjenu paleta postavljaju se sljedeći zahtjevi [11]:

- što kraće vremensko trajanje izmjene palete,
- paleta treba biti dovoljno čvrsta i kruta,
- paleta treba biti dovoljnih izmjera za primanje sirovaca (obradaka) različitih izmjera i oblika, te mora omogućiti njihovo stezanje,
- stezna površina palete treba biti veoma ravna (odstupanje manje od  $15\mu\text{m}/\text{m}$ ) i paralelna s vodilicama (odstupanje manje od  $10\mu\text{m}$ ),
- stezna površina se ne smije elastično deformirati kod stezanja sirovca,
- manipulacija paletama na obradnim strojevima treba biti jednostavna ,
- visoka radna točnost i pouzdanost,
- izmjenu paleta treba izvoditi automatski, a njeno stezanje na obradnom stroju treba pouzdano izvoditi stroj prema programu,
- obradni stroj na kojemu se automatizira izmjena obradaka treba imati mogućnost prihvaćanja i stezanja paleta.

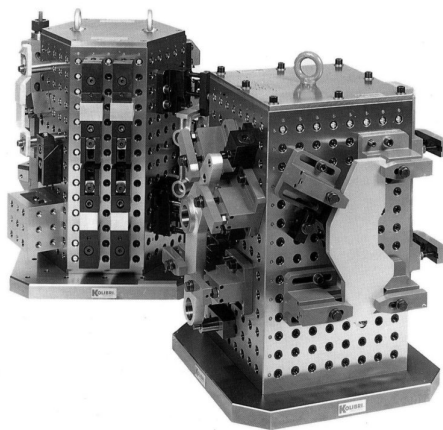
### 3.1. Paleta

Paleta, prikazana na Slika 25 je element sustava za paletizaciju koji se proteže kroz sve vrste zadaća koje taj sustav izvršava: prihvata, izmjena, preuzimanje, transport i skladištenje obratka. Paleta je automatizirani pokretni stol na koji se steže obradak, koji klizi ili pivotira zajedno s obratkom  $u$ , odnosno iz obradnog stroja. Više paleta omogućavaju stezanje jednog obratka za vrijeme rada obradnog stroja, tj. dok obradni stroj obrađuje drugi obradak. [18]



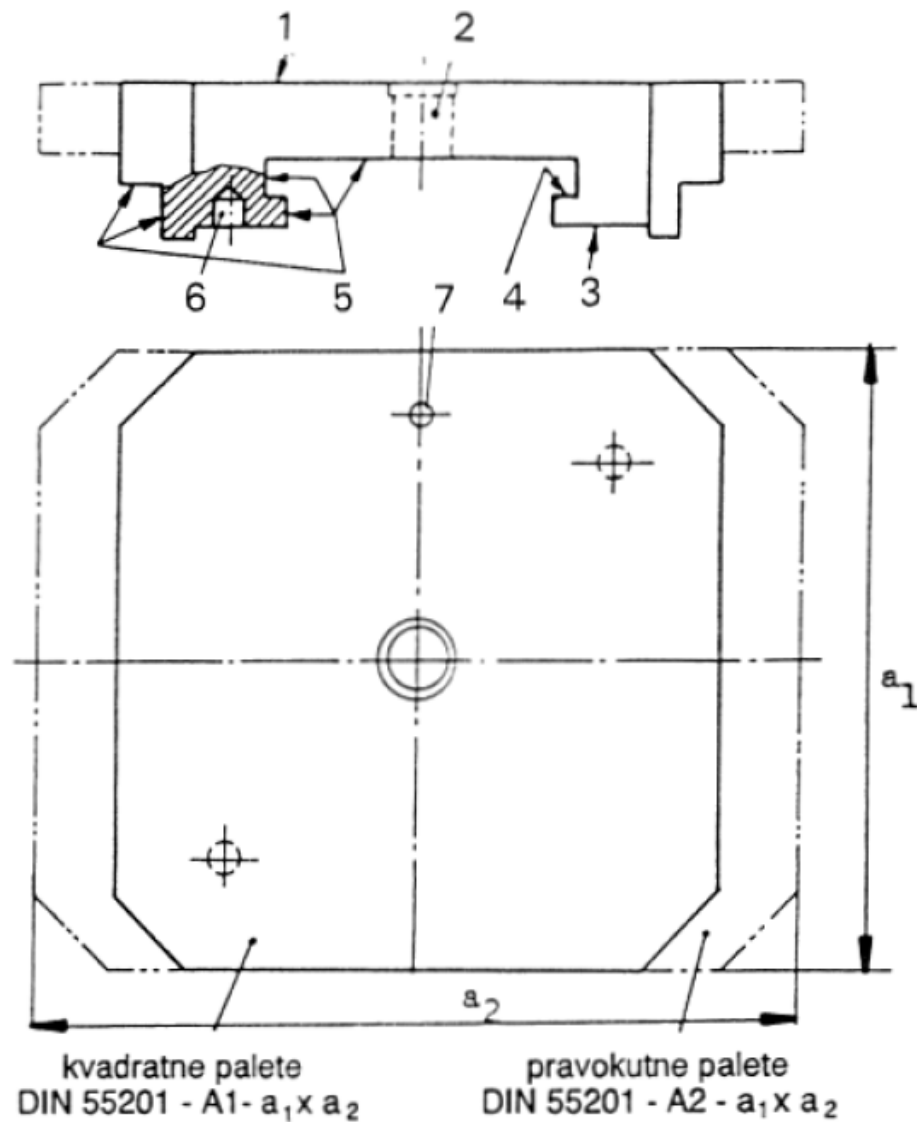
Slika 25. Paleta [19]

Koliko će obradaka biti na paleti ovisi o vremenu obrade. Poželjno je da se paleta zadrži što dulje u radnom prostoru obradnog stroja. Kada je vrijeme po obratku malo, razmišlja se o smještanju više obradaka na jednu paletu. To se postiže steznom napravom koja se pričvrsti na paletu, a obratci se stežu sa strane naprave izmjenjivim steznim elementima koji su prikazani na Slika 26. Na jednoj paleti, sa ili bez stezne naprave, mogu biti smješteni različiti tehnološki slični obratci. Ovakvim rješavanjem znatno se smanjuje broj paleta i vrijeme protoka.



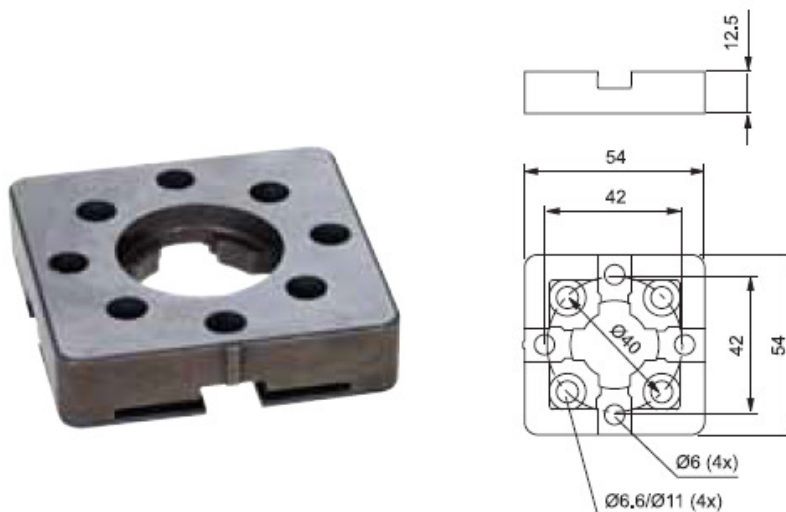
**Slika 26. Palete s vertikalnim steznim površinama za obradak i izmjenjivim steznim elementima [20]**

Elementi palete, prikazani na Slika 27, su stezna površina za obradak (1), središnji provrt (2), oslona površine palete (3), stezna površina palete (4), vodeće površine (5), pozicijski provrt (6), otvor za položaje (7). Kod obradnih strojeva i obradnih sustava opremljenih sustavom za automatsku izmjenu obradaka paletom, prema standardu DIN 55201 postoje slijedeće vrste paleta: kvadratne, pravokutne i kružne. Palete se najčešće dijele prema veličini, tako su prema DIN 55201 standardne veličine kvadratnih odnosno pravokutnih paleta: 320×320(400), 400×400(500), 500×500(630), 630×630(800), sve veličine su izražene u milimetrima. U praksi nalazimo palette manjih dimenzija, npr. paleta 54×54mm, prikazana na Slika 28, najčešće se koriste za prihvat elektrode ili za preciznu obradu.



Slika 27. Paleta s pozicijama elemenata palete [11]

Standardni otvor za položaje na paleti je navoj (M10, M12, M16) ili T-utor, no palete mogu biti i bez otvora za položaje.



Slika 28. Paleta manjih dimenzija [21]

Od posebnih vrsta paleta u praksi nalazimo palete s ugrađenom steznom napravom, npr. magnetni stol ili škripac. Kontrolne palete (e. *master pallet*), fino brušenih površina koje služe za precizno određivanje nul-točaka palete na obradnom stroju. Adapteri, prikazani na Slika 29, za prihvat manjeg referentnog sustava. Adapter, koji se pozicionira na prihvat palete, na sebi ima ugrađen prihvat palete manjeg referentnog sustava, na koji se pozicionira paleta manjih dimenzija. Na ovaj način se također, oslobađa pristup radnom vretenu obradnog stroja, radno vreteno neće zapeti za paletu većih dimenzija, a zadržava se točnost pozicioniranja. Palete s vertikalnim steznim površinama za obradak (e. *tombstone*), koje su prikladne za stezanje i obradu više manjih dijelova. Razni tipovi paleta prikazani su u Tablica 2 i Tablica 3.



Slika 29. Adapteri za prihvat manjeg referentnog sustava palete [21]



Tablica 2. Tipovi paleta

Primjer	Opis palete
	Kvadratna paleta s navojnim otvorima za položaje.
	Kvadratna paleta s T-otvorima za položaje.
	Kružna paleta s navojnim otvorima za položaje.
	Kružna paleta s navojnim otvorima za položaje i središnjim provrtom.
	Kružna paleta bez otvora za položaje.

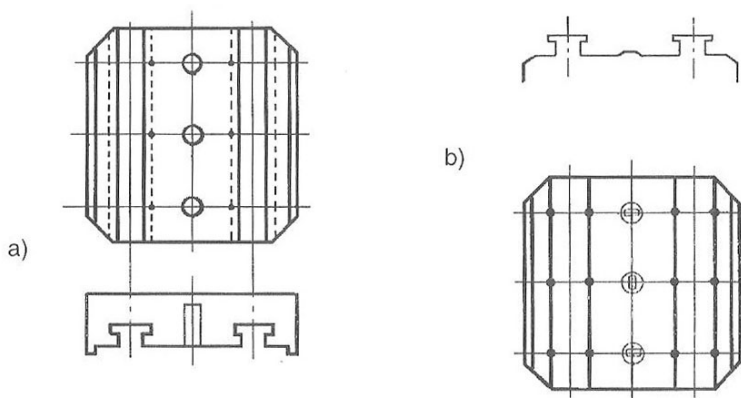
Tablica 3. Tipovi paleta - nastavak

Primjer	Opis paleta
	Paleta s ugrađenom steznom napravom - magnetski stol
	Kružna paleta s ugrađenom steznom napravom - škripac.
	Paleta s vertikalnim steznim površinama za obradak i navojnim otvorima za položaje.
	Paleta sa četiri vertikalne stezne površine za obradak i navojnim otvorima za položaje.
	Kontrolna paleta, fino brušenih površina, za precizno definiranje nul-točke paleta na obradnom stroju.

### 3.2. Prihvat palete

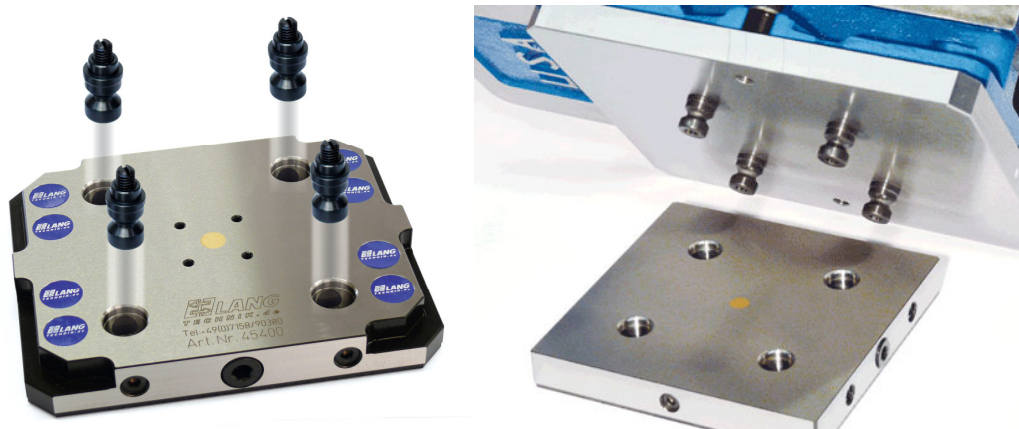
Veza palete s radnim stolom obradnog stroja ili obradnog centra ostvaruje se pomoću pomičnog ili nepomičnog prihvata palete prikazanog na Slika 30. Standardizirano sučelje između radnog stola obradnog stroja i palete, odnosno bilo koje stezne naprave, omogućava fiksno pozicioniranje, skidanje te repozicioniranje bez ponovnog umjeravanja. Takav sustav sastoji se od dva dijela, prvog koji je fiksno vezan za radnu ploču stola i drugog vezanog za steznu napravu. Tako izveden koncept modularnosti obradnog stroja pruža veću fleksibilnost, sigurnost pozicioniranja i stezanja, skraćuje vrijeme prijelaza na novu seriju obradaka ili vraćanja na prethodnu uz skraćivanje pomoćnih vremena i prazni hod te produžava vijek trajanja stroja.

Suvremeni paletni sustavi koriste stezni sustav s definiranom nul-točkom obratka (e. *zero-point clamping system*), jer na taj način se brzo i precizno povezuje obradak, stezna naprava, paleta i radni stol obradnog stroja. Sustav je također pogodan za brzu izmjenu paletiziranih radnih komada između više obradnih strojeva.



**Slika 30. Veza palete sa držačem palete a) paleta b) držač palete [11]**

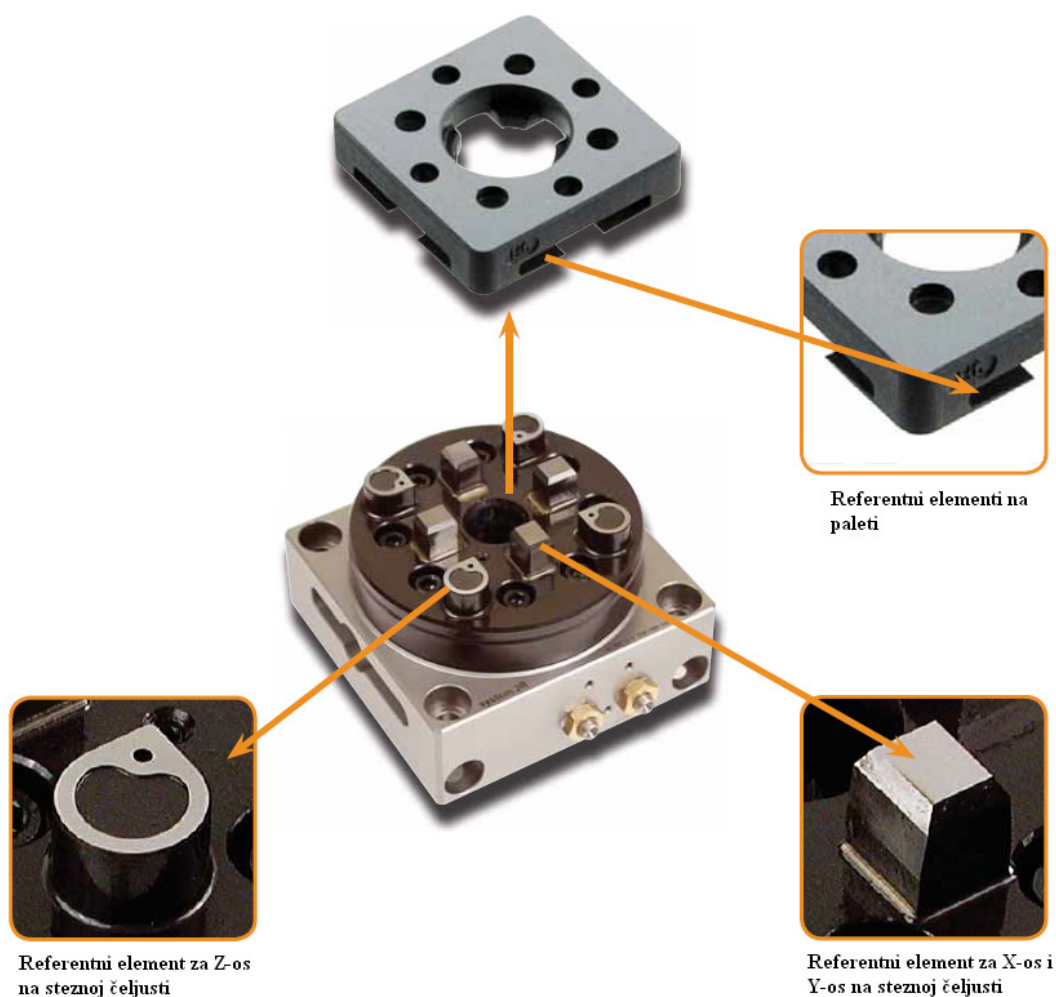
Stezni sustav s definiranom nul-točkom obratka prikazan je na Slika 31. Ovaj sustav pruža točno i ponovljivo stezanje radnog komada. Korištenjem ovog sustava obratci se mogu postaviti i premještati iz jednog obradnog stroja u drugi uz minimalno ponovno stezanje i pozicioniranje. Sustav se sastoji od statičnog modula, koji se ugrađuje izravno na radni stol obradnog stroja, i stezne ploče na koju se ugrađuje standardna ili specijalna oprema za stezanje. Stezna ploča se brzo i precizno uklapa na statični modul. Stezne ploče su konstruirane kako bi podržavale postojeće stezne naprave.



**Slika 31. Stezni sustav s definiranom nul-točkom obratka [2][5]**

Stezne ploče "sjedaju" na stezne module preko pneumatskog ili hidrauličnog mehanizma, proces stezanja traje 0,2 sekunde. Jednom kad su stezni moduli postavljeni, naprave za stezanje se pozicioniraju sa vrlo visokom točnosti (ponovljivost od 0,005 mm) i stegnute su za radni stol obradnog stroja ili paletu silom do 75 kN [2]. Nul-točke se definiraju steznoj napravi na svakom obradnom stroju. Na ovaj način je osigurano precizno i ponovljivo pozicioniranje radnih komada ili paleta za vrijeme prenošenja ili obrade radnog komada. Stezni moduli podržavaju ručne i automatizirane stezne naprave i lako se prenose automatiziranim transportnim sustavima.

Za prihvat i pozicioniranje manjih paleta koriste se stezne čeljusti odnosno referentna baza (e. *chuck*), prikazana na Slika 32. Paleta se pozicionira na stezne čeljusti preko referentnih elemenata koji se nalaze na paleti i na steznim čeljustima, a stezanje se vrši pomoću steznog klipa (e. *drawbar*). Referentni elementi mogu biti izrađeni izravno na paleti (manje palete), prikazano na Slika 32 ili ugrađeni na paletu, prikazano na Slika 33.

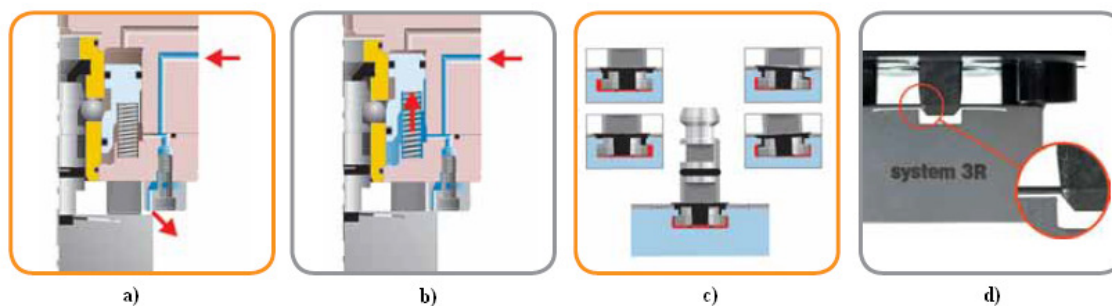


Slika 32. Stezna čeljust i paleta Macro referentnog sustava [21]



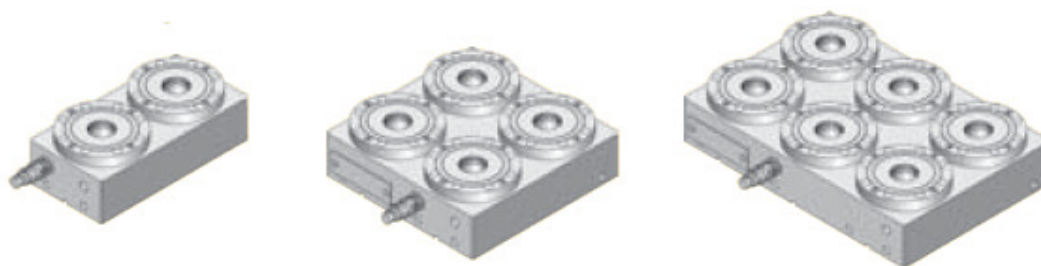
Slika 33. Donja strana paleta sa ref. elementima i ref. elementi koji se ugrađuju na paletu [21]

Referentni elementi Z-osi se automatski čiste pritiskom zraka kroz mlaznice koje su ugrađene na referentne elemente Z-osi, prikazano na Slika 34-a. Dodatna sila stezanja se postiže zrakom pod pritiskom koji se preusmjerava iz mlaznica za čišćenje referentnih elemenata Z-osi na stezni klip kada se referentni elementi Z-osi preklope i zatvore prolaz zraka Slika 34-b. Stezanje se vrši preko steznog klipa Slika 34-c. Dodirne plohe referentnih elemenata x-osi i y-osi palete i stezne čeljusti su prilagođene kako bi se postigla što veća dodirna ploha, što povećava točnost pozicioniranja i smanjuje trošenje Slika 34-d.



**Slika 34. Pomoćni mehanizmi na steznim čeljustima [21]**

Stezne ploče, prikazane na Slika 35, sastoje se od više ugrađenih steznih čeljusti. Najčešće se sastoje od četiri komada steznih čeljusti, no postoje i stezne ploče sa dva ili šest komada steznih čeljusti. Stezne ploče koriste se za stezanje većih paleta.

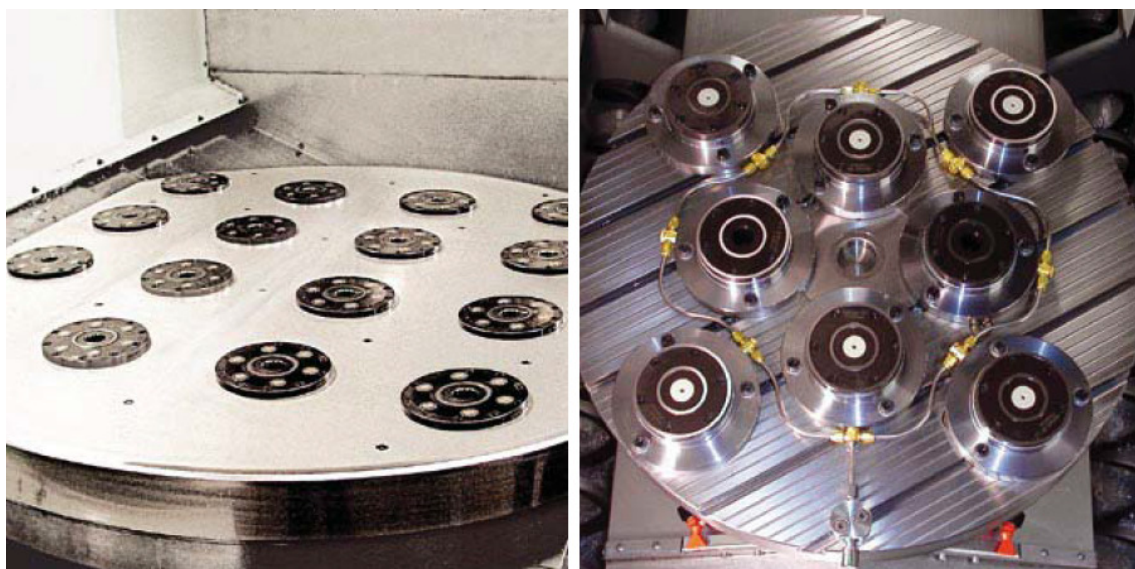


**Slika 35. Stezne ploče [21]**

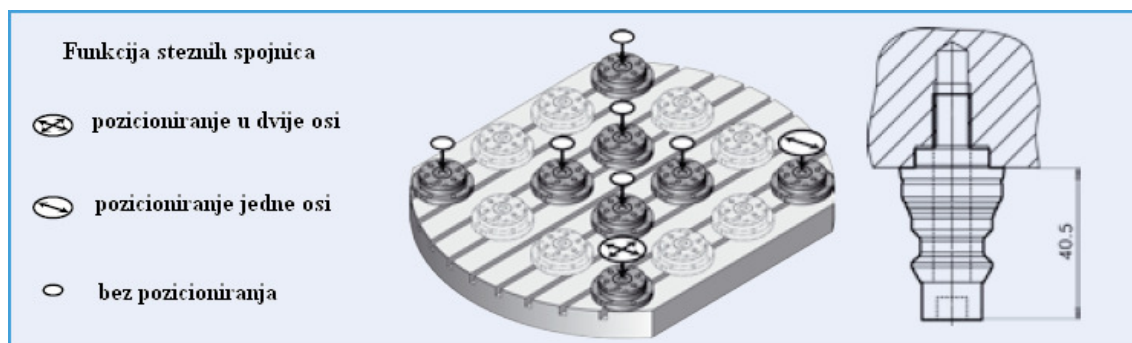
Za prihvat vrlo velikih obradaka moguće je montiranje pojedinih steznih čeljusti izravno na radni stol obradnog stroja kako je prikazano na Slika 36. Korisnik tako sam određuje broj i raspored steznih čeljusti, no preporuka je da se koriste najmanje četiri stezne čeljusti za pojedinu vrstu obratka, jer je tako moguć prijelaz na paletizaciju obradaka. Pozicioniranje se ostvaruje preko steznih spojnika (e. *clamping spigots*), prikazanih na Slika



37, koje se ugrađuju izravno u obradak ili steznu napravu te 'sjedaju' na stezne čeljusti. Obradak se pozicionira na način da jedna stezna čeljust vrši pozicioniranje po dvije osi (npr. x-os i y-os), druga vrši pozicioniranje po jednoj osi (npr. y-os) dok ostale stezne čeljusti služe samo za pridržavanje.

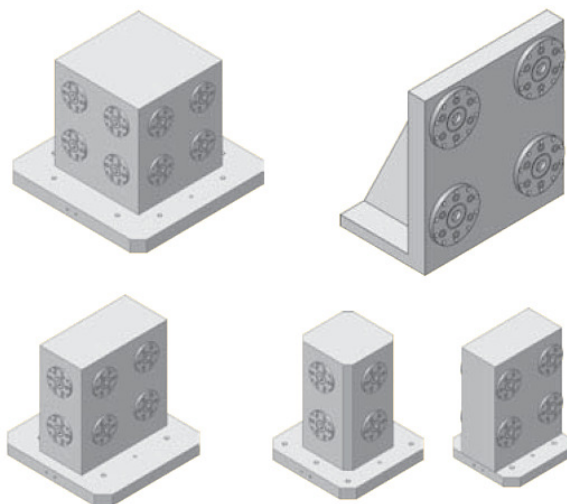


Slika 36. Prihvat palete preko više steznih čeljusti [21]



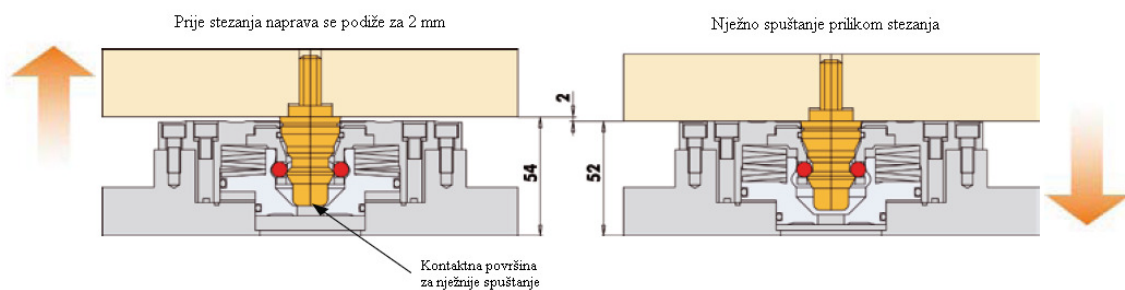
Slika 37. Pozicioniranje preko steznih spojnica [21]

Preko steznih spojnica mogu se montirati i naprave za vertikalni prihvat palete (e. *turrets*) prikazane na Slika 38, što omogućava brzu izmjenu takvih naprava, kao i montiranje drugih steznih naprava na radni stol.



**Slika 38. Naprave za vertikalni prihvat palete [21]**

Kod horizontalnog prihvata teških obradaka i naprava preporučeno je korištenje hidrauličkog sustava za ostvarivanje sile stezanja, jer takvi sustavi imaju mogućnost kontroliranog spuštanja teških obradaka kojim se ostvaruje zaštita referentnog elementa z-osi. Princip je prikazan na Slika 39. Tim načinom spuštanja obratka na oslonce se čuva točnost pozicioniranja tokom godina i produžuje životni vijek steznih čeljusti. Ovaj princip nije potreban kod vertikalnog stezanja obradaka.

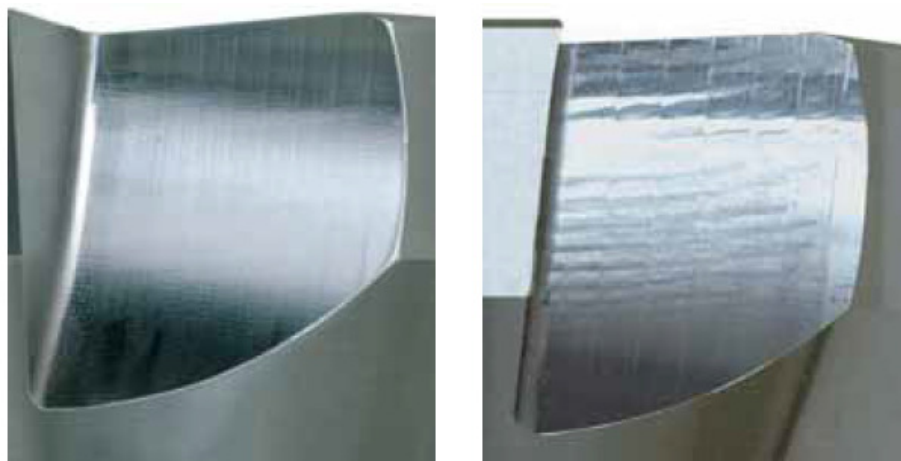


**Slika 39. Princip kontroliranog spuštanja obratka [21]**

Neki prihvat paleta imaju mogućnost prigušivanja vibracija prilikom procesa obrade odvajanjem (e. *vibration-damped palletisation* - VDP). Vibracije obratka uzrokuju dinamičke sile nastale uslijed obrade reznim alatom. Zbog vibracija, posmak i broj okretaja reznog alata su ograničeni kako bi se zadržala stabilnost procesa obrade i kvaliteta obrađene površine.



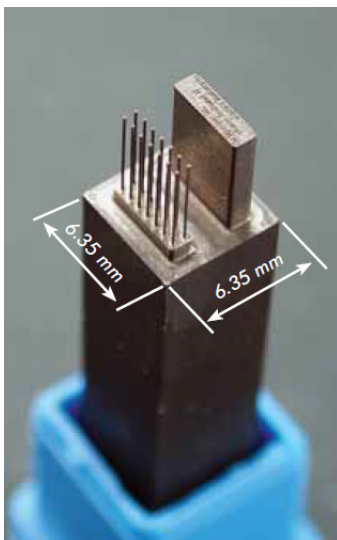
Prigušivanje vibracija postiže se polimernim elementom kao strukturnim dijelom prihvata palete. Polimerni element upija i prigušuje vibracije koje nastaju prilikom procesa obrade odvajanjem. Prigušivanjem vibracija obratka i reznog alata primjenom VDP prihvata paleta poboljšava se dinamika čitavog procesa obrade odvajanjem čestica. Poboljšana dinamika procesa obrade odvajanjem čestica omogućava veće brzine obrade, veću preciznost obrade (točnost dimenzija), bolju kvalitetu površine (razlika u kvaliteti površine prikazana je na Slika 40) i manje trošenje oštrice reznog alata. Obratci se mogu izraditi u jednoj operaciji, jer se postiže bolja točnost dimenzija. Primjer proizvedene elektrode za obradu elektroerozijom (e. *electric discharge machining* - EDM) prikazan je na Slika 41, proizvod je izrađen postupkom mikro glodanja na VDP prihvatu palete. Pomoću VDP postignut je dvostruko veći omjer duljine i promjera ( $L / \phi$ ). Dimenzije cilindričnih dijelova iznose:  $\phi = 0,134$  mm,  $L = 4,8$  mm. [21]



**Slika 40. Razlika u kvaliteti površine a) sa VDP prihvatom palete, b) sa konvencionalnim prihvatom palete [21]**

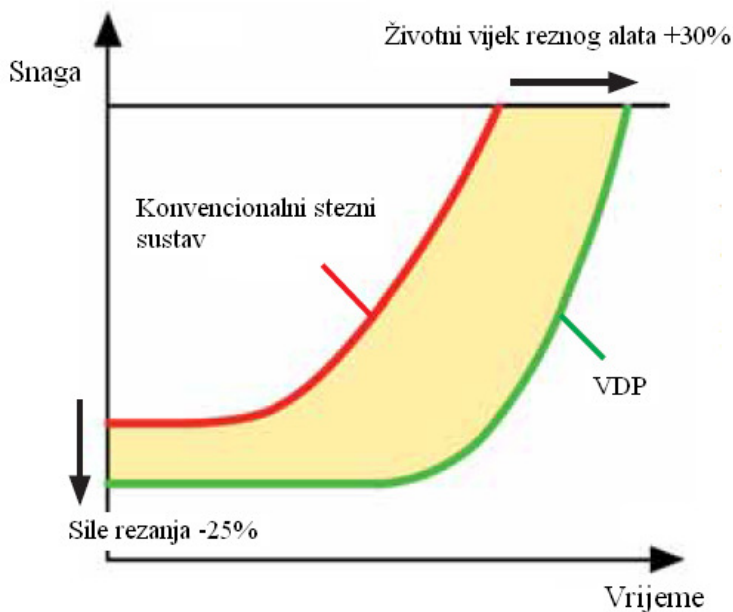
Prednosti primjene VDP prihvata palete prema [21] su:

- Povećana kvaliteta površine nakon završne obrade, uglavnom za 200%.
- Sile rezanja smanjene do 25%.
- Trošenje reznog alata smanjeno za 30%.
- Povećana količina odvojenog materijala za 30%.
- Životni vijek glavnog vretena obradnog stroja povećan za 30%.



Slika 41. Elektroda izrađena na VDP prihvatu palete [21]

Na Sliku 42 grafički su prikazane prednosti primjene VDP prihvata palete. Bolja kvaliteta površine vodi smanjivanju broja potrebnih operacija na obratku. Veći posmak i brzina obrade skraćuju vrijeme obrade. Manje sile obrade produžuju vijek trajanja glavnog vretena obradnog stroja. Sve nabrojene prednosti, uz produženi životni vijek trajanja alata, smanjuju troškove proizvodnje, te samim time povećavaju ostvarenu dobit. [21]

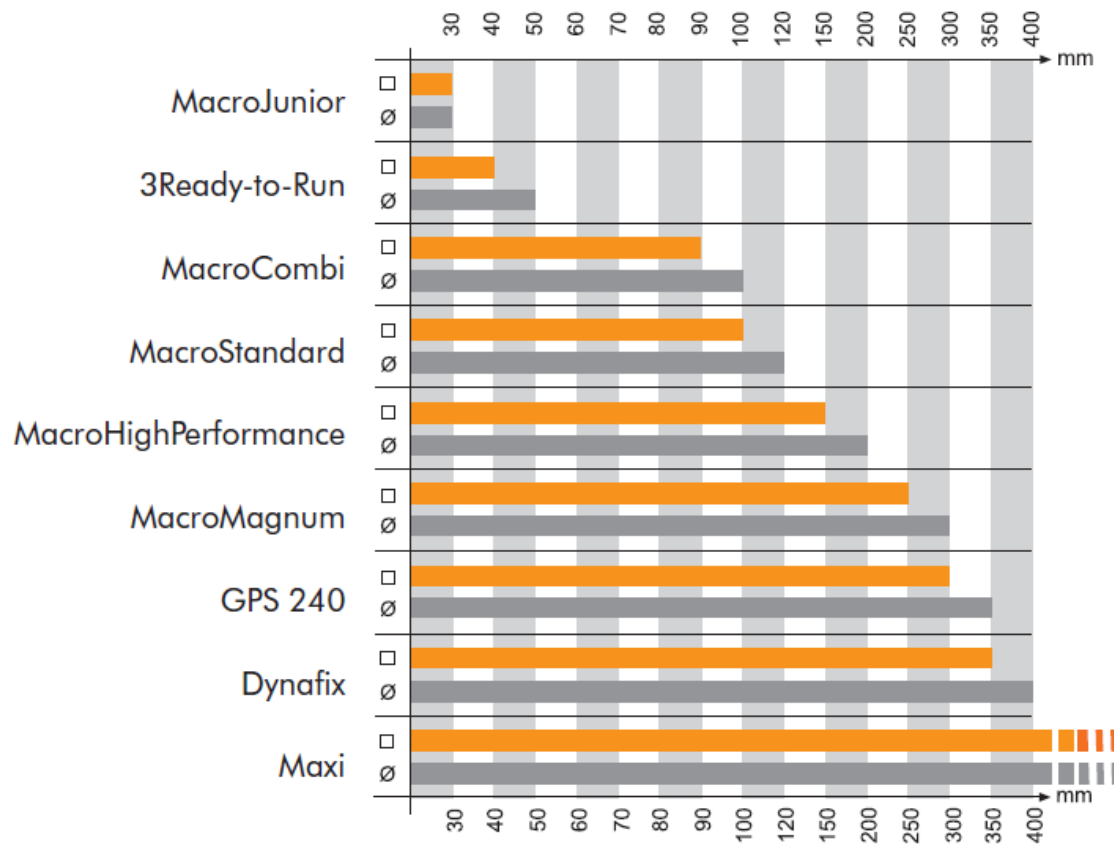


Slika 42. Grafički prikaz prednosti korištenja VDP prihvata palete [21]

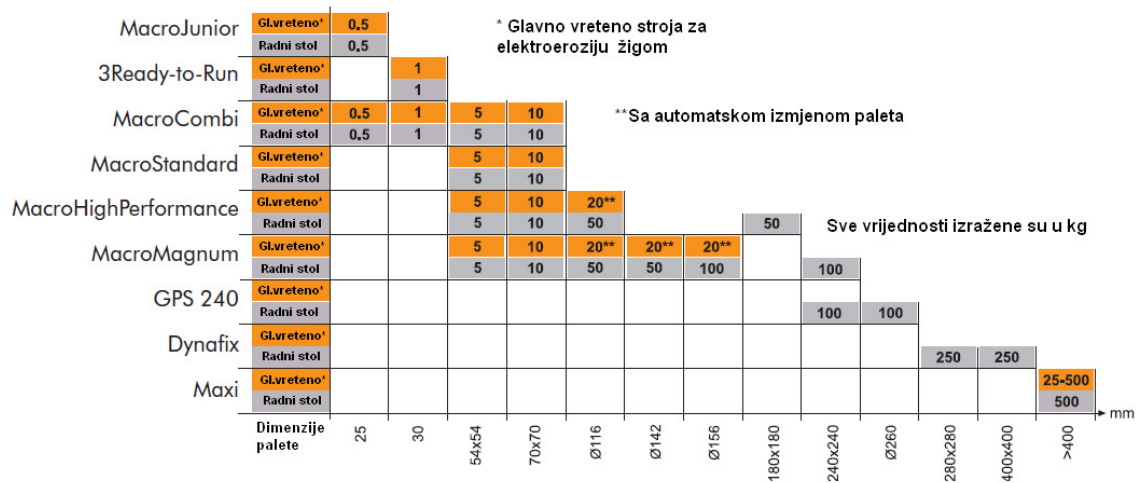
### 3.3. Referentni sustavi

Referentni sustav čine referentna baza odnosno prihvat palete i pripadajuće palete koje se po potrebi stežu preko steznog klipa. Referentni sustavi služe za brzo i točno pozicioniranje palete na radni stol preko prihvata palete. Preko referentnih sustava najčešće se pozicioniraju obratci prilikom strojne obrade, elektroerozije žicom i elektrode za EDM. Kod paletizacije elektroda za EDM, elektroda se brzo i jednostavno prebacuje sa obradnog stroja za izradu elektroda na mjerni uređaj, a potom i na glavno vreteno stroja za elektroeroziju. Postupak prebacivanja paletirane elektrode između obradnog stroja za izradu elektroda, stoja za mjerenje i stroja za EDM opisan je u poglavlju 4.4. Univerzalni referentni sustavi mogu se koristiti za izmjenu alata (elektroda) i obradaka (npr. *Macro* referentni sustav).

Referentni sustavi za izmjenu obradaka najčešće se dijele prema dimenzijama i masi obradaka. Za određenu dimenziju palete postoji preporučena masa i dimenzija obratka. No pri izboru referentnog sustava, treba uzeti u obzir i materijal obratka i vrstu obrade. Referentni sustavi za prihvat obradaka veće mase i dimenzije, te za postupak obrade kod kojeg se javljaju veće sile obrade imaju manju točnost pozicioniranja, ali veću stabilnost. Na Slika 43 prikazana je podjela referentnih sustava Tvrtke *System 3R* prema preporučenim dimenzijama obratka, a na Slika 44 prikazana je podjela prema masi obratka. Postoje i referentni sustavi za prihvat obradaka većih masa i dimenzija. Neki referentni sustavi imaju mogućnost prihvata obratka mase i do 10 tona [21].

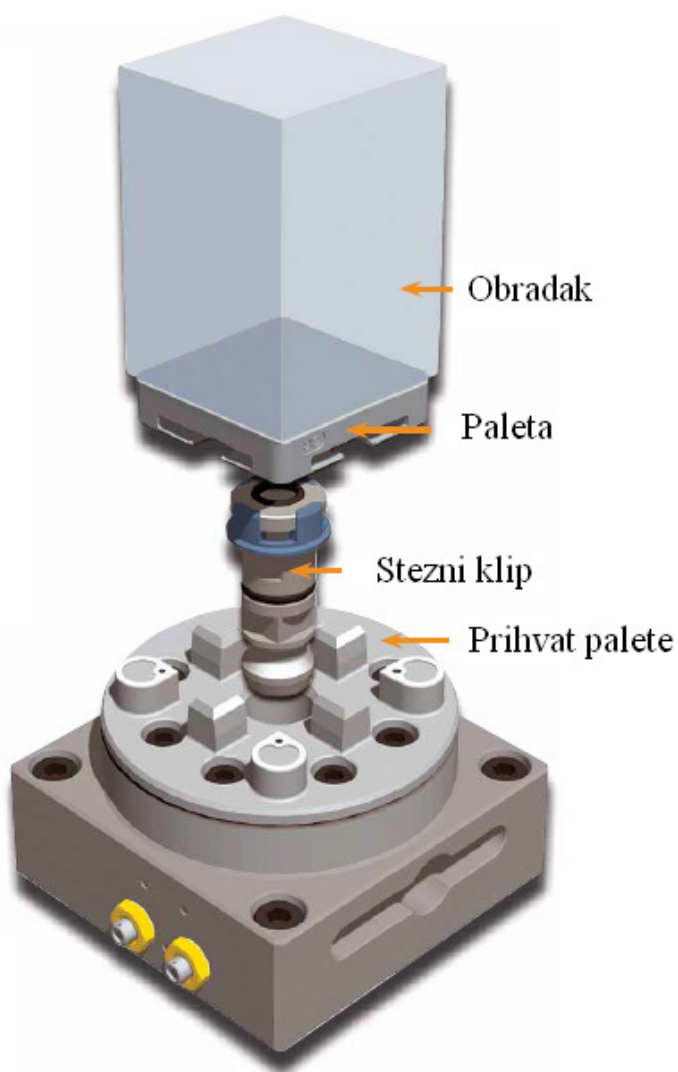


Slika 43. Podjela referentnih sustava tvrtke System 3R prema dimenzijama obratka [21]



Slika 44. Podjela referentnih sustava tvrtke System 3R prema masi obratka izraženoj u kg [21]

Na Sliku 45 prikazan je *Macro* univerzalni referentni sustav proizvođača *System 3R*. Namijenjen je za paletizaciju manjih obradaka. Najčešće se koristi kod precizne strojne obrade ili za prihvata i izmjenu elektroda za EDM, za vrijeme izrade elektrode i za vrijeme obrade elektroerozijom. Referentni sustavi građeni su na modularnom principu izrade, stoga je moguća kombinacija i sa drugim referentnim sustavima. Prijelaz sa jednog na drugi referentni sustav postiže se pomoću posebnih adaptera koji se pozicioniraju na prihvata većeg referentnog sustava. Adapteri imaju ugrađen prihvata za manji referentni sustav na koji se pozicionira paleta. Na Sliku 29 prikazani su takvi adapteri.



Slika 45. Macro referentni sustav [21]

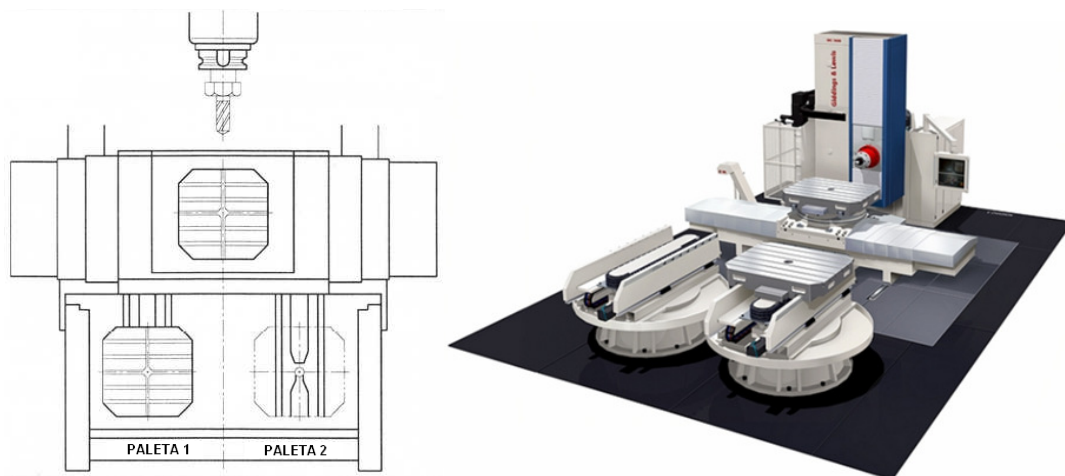
Referentni sustavi uglavnom imaju mogućnost automatskog čišćenja zrakom referentnih elemenata prihvata palete. Mogu postići točnost pozicioniranja od 0,001 mm [21]. Referentni sustavi prilagođeni su uvjetima pri kojima će se koristiti, npr. povećana točnost pozicioniranja za kod obrade manjih obradaka, zaštićeni su od prljavštine i odvojene čestice. Neki referentni sustavi imaju provrt kroz sredinu referentnog sustava koji omogućava bolje stezanje visokih obradaka.

### **3.4. Uredaji za izmjenu paleta, spremište paleta i transportni sustav**

Prebacivanje palete iz spremišta paleta ili međuspremišta na obradni centar ili transportni sustav obavlja se pomoću dva manipulacijska stola, okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom, uređajem za izmjenu paleta ili direktno sa spremištem paleta. Ukoliko obratci nisu velikih dimenzija i mase, za rukovanje paletama često se koriste i roboti. Spremište paleta omogućuje kontinuirani rad obradnog centra, fleksibilne obradne ćelije ili fleksibilnog obradnog sustava, bez poslužitelja. Time je omogućen rad u trećoj smjeni i vikendima i praznicima, pa se znatno povećava iskorištenje kapaciteta sustava. Skladišta paleta mogu biti: linijska, optočna, kružna, ovalna. U skladište paleta, sa strane stanice za ulaganje, ručno se ubacuju palete sa sirovim obradcima, a s obradnih strojeva palete s obrađenim izrascima automatski ulaze u skladište paleta. Transportni sustav se može izraditi kao odvojeni sustav ili kao sastavni dio spremišta paleta. [11]

#### **3.4.1. Sustav automatske izmjene paleta s dva manipulacijska stola**

Ovaj sustav u praksi ima više alternativa. Na Slika 46 prikazano je rješenje s dva manipulacijska stola, smještena ispred obradnog stroja. Na manipulacijskim stolovima i na radnom stolu obradnog stroja su istovjetne vodilice i stezni sustavi. Izmjena palete na radnom stolu se obavlja automatski pomoću mehanizma za prebacivanje paleta. [11]



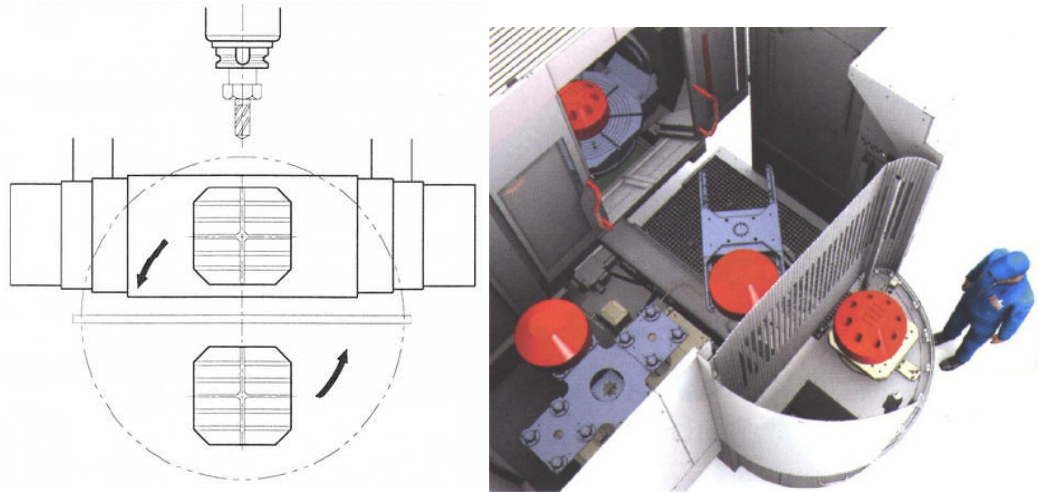
**Slika 46. Izmjena paleta s dva manipulacijska stola [1] [14]**

### **3.4.2. Sustav automatske izmjene paleta s okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom**

Na Sliku 47 prikazana je upotreba okretnog manipulacijskog dvopaletnog stola. U ovom slučaju potrebno je samo jedno radno mjesto za posluživanje. Kod ovog sustava izmjena paleta se odvija kako slijedi [11]:

- nakon obrade sirovca (obratka) kojega nosi paleta, paleta se oslobodi i potisne na slobodno mjesto okretnog manipulacijskog stola na kojem se stegne
- okretni manipulacijski dvopaletni stol se zakrene za 180°, tako da paleta 2, a na njoj i novi sirovac, dođe u položaj prema radnom stolu
- paleta 2 se s okretnog manipulacijskog dvopaletnog stola automatski prebaci na radni stol obradnog stroja gdje se stegne

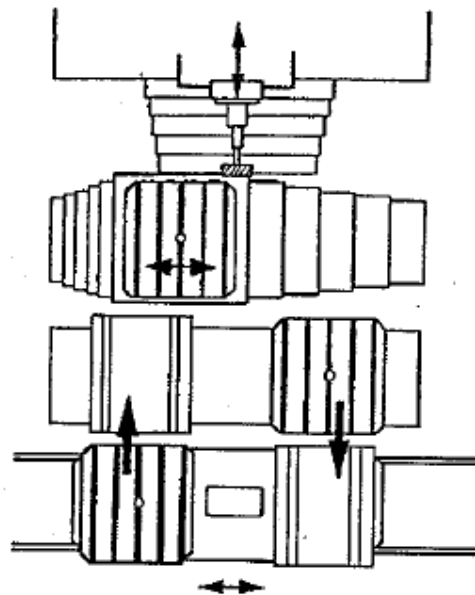
Na taj način izmjena paleta je dovršena i počinje obrada sirovca na novoj paleti. Ovim načinom moguće je postići vrijeme izmjene palete od deset do dvadeset sekundi, a ovaj sustav se koristi i za punjenje spremišta paleta. [11]



**Slika 47. Izmjena paleta pomoću okretnog manipulacijskog dvopaletnog stola [1] [4]**

### **3.4.3. Osnovni tipovi uređaja za izmjenu paleta**

Uređaj za izmjenu paleta se najčešće koristi kod obradnih centara te fleksibilnih ćelija i fleksibilnih obradnih sustava. Način izmjene paleta pomoću uređaja za izmjenu paleta i njegova veza s tračnim kolicima prikazani su na Slika 48 [11]:

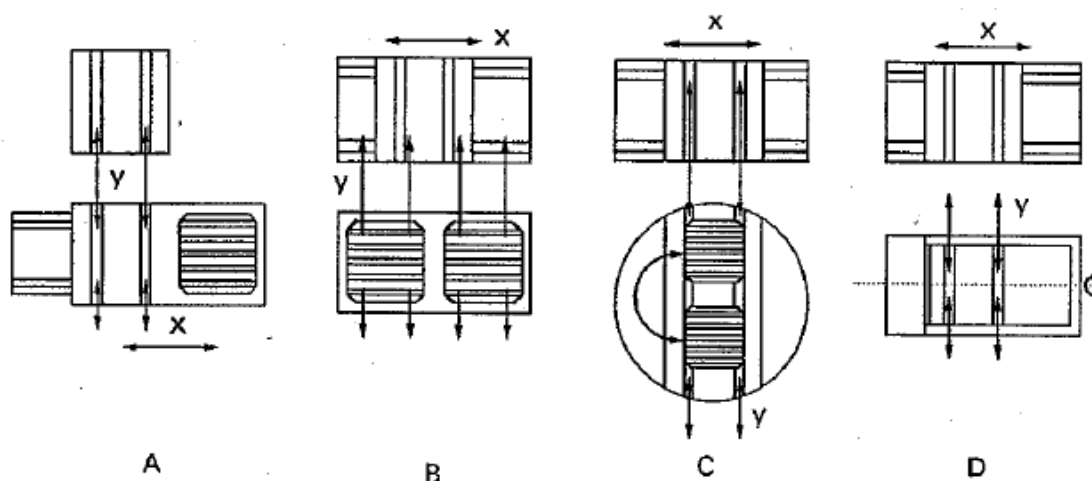


**Slika 48. Način izmjene paleta pomoću uređaja za izmjenu paleta [11]**



S obzirom na različite mogućnosti gibanja radnog stola, os x, uređaji za izmjenu paleta se mogu podijeliti u četiri skupine Slika 49 [11]:

- tip "A" - je uzdužno pomični nosač paleta na uređaju za izmjenu paleta, a koristi se kad radni stol obradnog stroja nema uzdužnog gibanja,
- tip "B" - je uzdužno nepomični nosač paleta uređaja za izmjenu paleta, a koristi se kada radni stol obradnog stroja ima uzdužno gibanje,
- tip "C" - je uređaj za izmjenu paleta s okretnim stolom oko vertikalne osi, a koristi se kada radni stol obradnog stroja ima uzdužno gibanje,
- tip "D" - je uređaj a izmjenu paleta s okretnim stolom oko horizontalne osi, a koristi se kada radni stol obradnog stroja ima uzdužno gibanje.



Slika 49. Izmjena paleta uređajem za izmjenu paleta i njegove varijante [11]

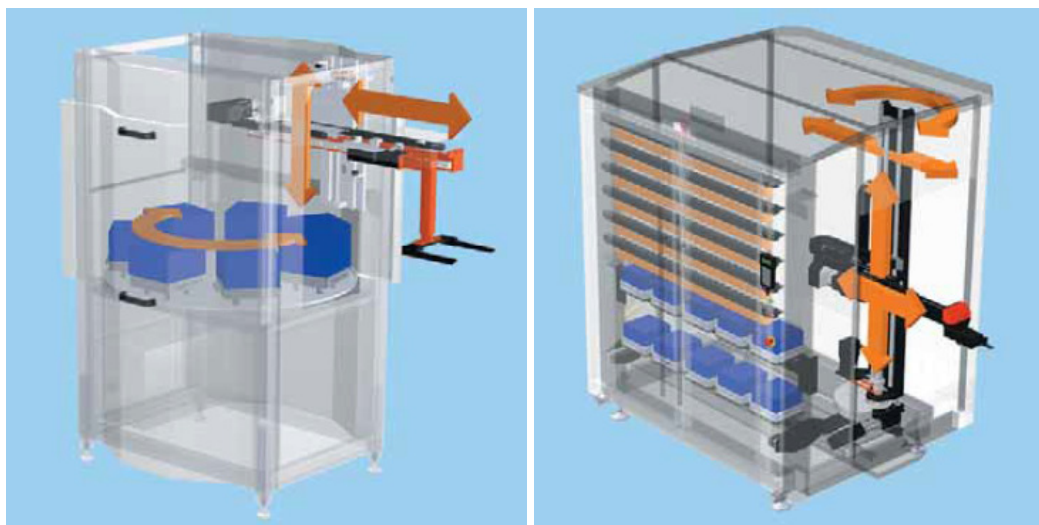
Kod svih osnovnih tipova uređaja za izmjenu paleta, izmjena paleta se može obavljati ručno ili automatski, prema programu. Primjer programskog toka kod fleksibilnih obradnih sustava može izgledati [22]:

1. Radni komad je pozicioniran i stegnut na praznu paletu. Paleta se učitava u sustav za upravljanje i šalje se na obradu. Ukoliko stroj za obradu naveden u programu nije slobodan, paleta se šalje u skladište gdje čeka dok obradni stroj ne postane dostupan.
2. Kada obradni stroj naveden u programu postane dostupan, paleta se transportira do tog obradnog stroja.

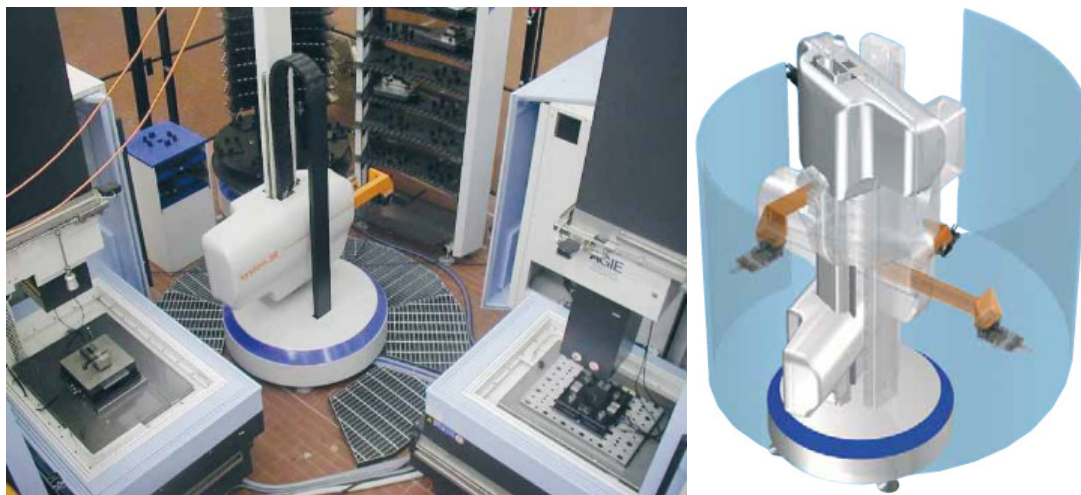
3. Radni komad na paleti se obrađuje na jednom ili više obradnih strojeva zavisno o programu i dostupnosti obradnih strojeva.
4. Ukoliko je jedan ili je više obradnih strojeva zauzeto, paleta čeka u skladištu dok se jedan od obradnih strojeva navedenih u programu ne oslobodi ili dok operator ne odluči drugačije.
5. Ukoliko prilikom obrade na radnom stroju dođe do greške, paleta se šalje u skladište gdje čeka na odluku operatera. Operator uklanja izradak, te isključuje paletu iz sustava za upravljanje.
6. Kada je program u potpunosti izvršen, paleta se šalje u skladište gdje čeka na otpuštanje gotovog izratka. Operator uklanja izradak, te isključuje paletu iz sustava za upravljanje.

#### 3.4.4. *Izmjena paleta manipulatorima*

Izmjena paleta može se vršiti i posebnim manipulatorima prilagođenim za izmjenu paleta na jednom ili između dva obradna stroja, prikazani su na Slika 50. Ova vrsta manipulatora može imati ugrađeno spremište paleta. Također postoje manipulatori otvorene arhitekture koji se mogu prilagoditi izmjeni paleta između više obradnih strojeva i skladišta. Takav manipulator prikazan je na Slika 51. Manipulatori za izmjenu paleta pogodni su za brzu automatizaciju sustava i ne zauzimaju puno radnog prostora.



**Slika 50. Manipulator sa skladištem za izmjenu paleta; lijevo - za jedan obradni stroj; desno - za dva obradna stroja [21]**



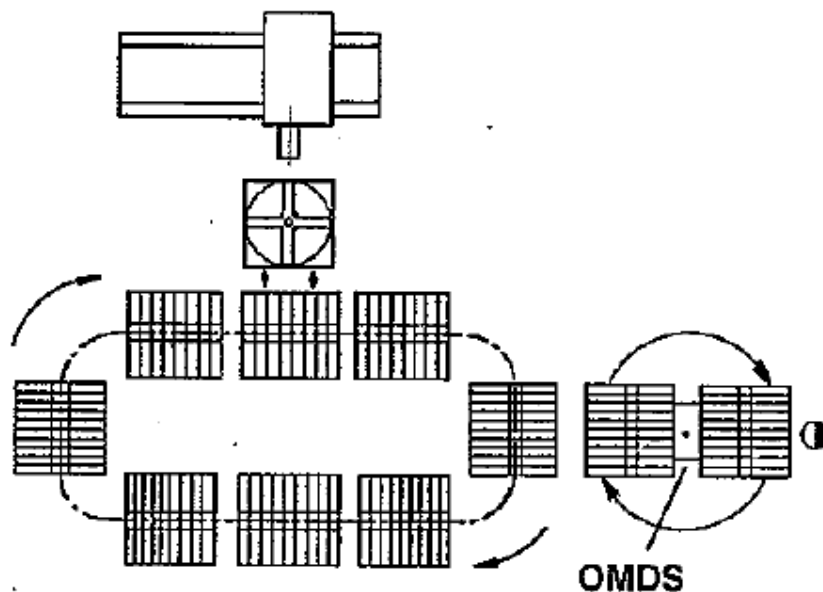
**Slika 51. Manipulator za izmjenu paleta između više obradnih strojeva [21]**

### **3.4.5. Spremište paleta i transportni sustav**

U potpuno automatiziranim obradnim strukturama često se upotrebljavaju različita spremišta paleta. Sastavni dio spremišta paleta su uređaji za izmjenu paleta i nepomične stanice za izmjenu paleta. Uređaj za transport može raditi kao odvojeni sustav ili kao sastavni dio spremišta paleta. Kružno i ovalno spremište paleta obavljaju funkcije transporta, spremanja i izmjene paleta.

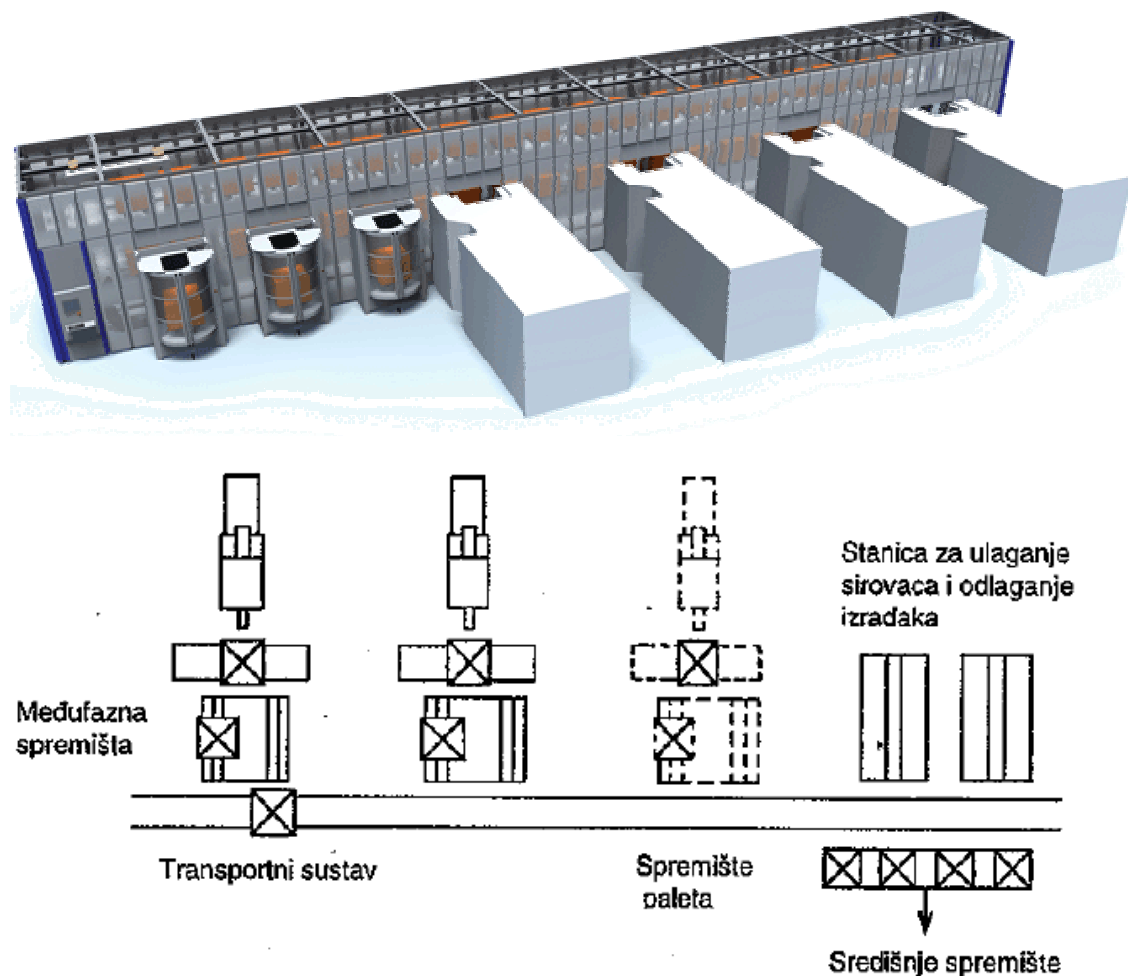
Shematski prikaz spremišta paleta prikazan je na Slika 52. Paleta s gotovim izratkom se premjesti s radnog stola obradnog stroja na prazno mjesto spremišta paleta. Spremište paleta pomakne se za jedno mjesto i slijedeća paleta sa sirovcem prebaci se na radni stol, stegne i počinje obrada.

Kada paleta s obrađenim izratkom dođe u položaj za punjenje spremišta paleta, s okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom se uzima paleta, okretni manipulator zakrene se za 180°, tako da paleta s neobrađenim sirovcem dođe u položaj prema spremištu paleta i ubacuje se u spremište paleta. Paleta s gotovim izratkom, koja je do poslužitelja, rasterećuje se izratkom i na nju se postavlja i steže novi sirovac. Tako se punjenje spremišta paletama obavlja neovisno o radu obradnog stroja, pa se i ne utječe na vrijeme obrade. [11]



**Slika 52. Automatska izmjena obradaka sa spremištem paleta i okretnim manipulacijskim dvopaletnim stolom [11]**

Na Slika 53 prikazan je pravocrtni raspored obradnih strojeva u fleksibilnom obradnom sustavu s automatskom izmjenom paleta pomoću među faznih spremišta, što ovaj sustav čini neovisnijim o transportu paleta. Radi se o tračnom transportu pomoću robokolica. Nakon završetka obrade sirovca na paleti radnog stola obradnog stroja, paleta se potisne u međufazno spremište. Robokolicima se palete s gotovim izratcima iz međufaznog spremišta nekog obradnog stroja odlažu u spremište paleta. Sirovi obratci, koji se ulažu na paletu u odgovarajućoj stanici za ulaganje, robokolicima se prebacuju u međufazno spremište odgovarajućeg slobodnog obradnog stroja. Iz međufaznog spremišta paleta sa sirovcem se prebacuje na radni stol obradnog stroja i onda može započeti obrada sirovca na toj paleti.

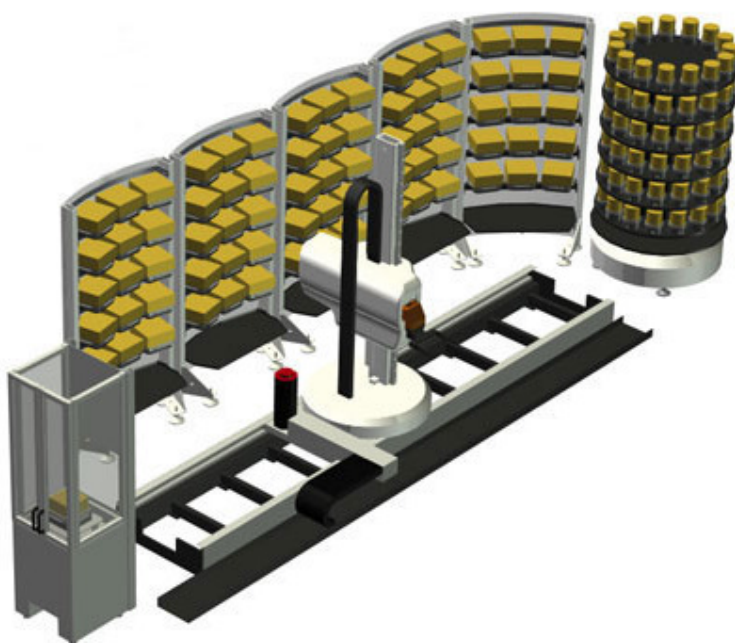


**Slika 53. 3D i shematski prikaz automatske izmjene paleta kod pravocrtnog fleksibilnog obradnog sustava [11] [22]**

Spremište paleta može biti modularno izvedeno, najčešće u kombinaciji sa manipulatorom koji vrši transport i izmjenu paleta. Ovisno o potrebi i raspoloživom prostoru u blizini manipulatora se postavljaju različiti magazini za spremanje paleta i obradni strojevi. Takvo skladište prikazano je na Slika 54. Ovaj tip skladišta pruža jako veliku fleksibilnost. Najčešće se koristi kod obradaka mase do 150 kg [21]. Povećanje kapaciteta skladišta postiže se šinskim transportom manipulatora, prikazano na Slika 55.



Slika 54. Modularno skladište sa manipulatorom [21]



Slika 55. Modularno skladište sa šinskim transportom manipulatora.[21]

### 3.5. Automatizacija paletnog sustava

Automatizacijom paletnih sustava postiže se povećanje fleksibilnosti, veća kvaliteta proizvoda i veća produktivnost. Automatizacija omogućuje proizvodnju bez obzira na doba dana ili dan u tjednu. Rezultat su kraća pripremna vremena, viša produktivnost i brži povratak

uloženih sredstava. Pomoću paletnog sustava moguća je automatizacija izmjene obradaka na jednom obradnom stroju ili između više njih, ako je obradak potrebno obrađivati na više obradnih strojeva. Pomoću paletnog sustava se definira nul-točka obratka na svim obradnim strojevima, što omogućava automatsku izmjenu paletiranih obradaka između više obradnih strojeva bez ponovnog stezanja ili pozicioniranja obratka i automatsku izmjenu paletiranih obradaka na jednom obradnom stroju, bez potrebe za zaustavljanjem obradnog stroja zbog stezanja i pozicioniranja obratka.

Automatizacija paletnog sustava se postiže integriranjem svih elemenata paletnog sustava u informatički povezanu cjelinu. Osim navedenih elemenata paletnih sustava: paleta, prihvat palete, uređaja za izmjenu paleta, spremišta paleta, te transportni sustav; za automatizaciju je potreban i sustav za prijenos informacija o obratku između upravljačkih jedinica obradnih strojeva, te odgovarajuća programska podrška.

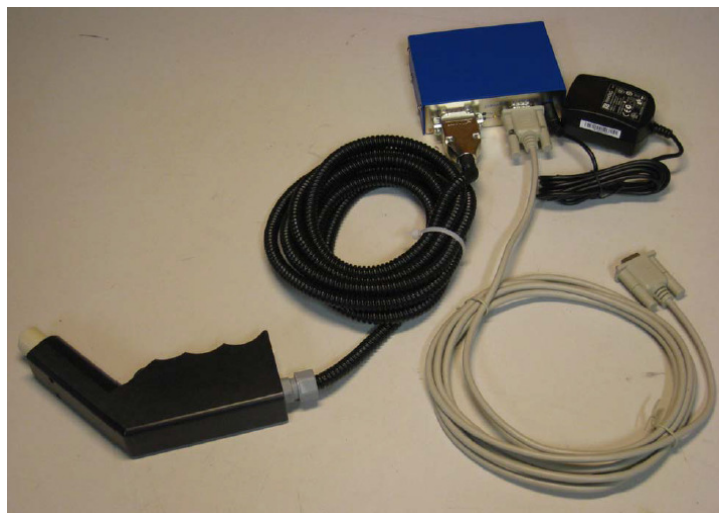
Sustav za prijenos informacija sastoji se od dva dijela: pasivnog transpondera tj. nosača koda, prikazani na Slika 56, i čitača koda prikazan na Slika 57. Transponder je bez-žični komunikacijski uređaj koji prima i automatski reagira na dolazni signal. Pasivni transponder služi za identifikaciju objekta pomoću računala ili robota. Pasivni transponder koristi se uz aktivni senzor koji dekodira i prepisuje sadržaj koji se nalazi na transponderu. [23]



**Slika 56. Nosači koda (transponderi) [21]**

Svaka paleta na sebi ima ugrađen odgovarajući transponder koji sadrži jedinstveni identifikacijski kod (ID-kod). Transponder ne sadrži baterije i hermetički je zatvoren i zaštićen kako bi izdržao teške proizvodne uvijete. Održavanje transpondera nije potrebno i ima praktički neograničen vijek trajanja. Trajno je programiran, kod je jedinstven za svaki transponder i ne može se izbrisati ili promijeniti.





**Slika 57. Čitač koda [21]**

Čitač šalje podražaj na transponder pomoću antene, putem elektromagnetskog polja. Transponder vraća signal, koji sadrži jedinstveni ID-kod transpondera, na čitač koji taj signal procesira. Komunikacija između čitača i transpondera ne zahtijeva kontakt, a očitavanje koda traje u prosjeku 24 ms. [21] Očitavanje koda vrlo lako se automatizira postavljanjem čitača koda na prihvat robotske ruke ili manipulatora, prikazano na Slika 58.

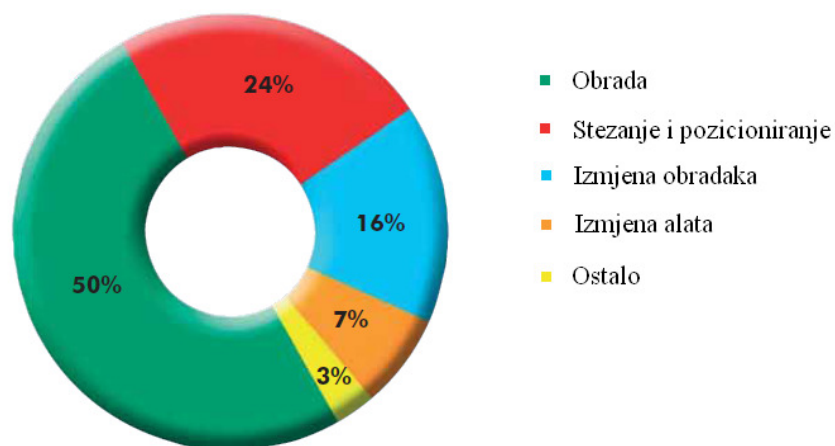


**Slika 58. Očitavanje koda palete u spremištu paleta pomoću manipulatora**



#### 4. PRIMJENA PALETNOG SUSTAVA I POSTIGNUTE UŠTEDE

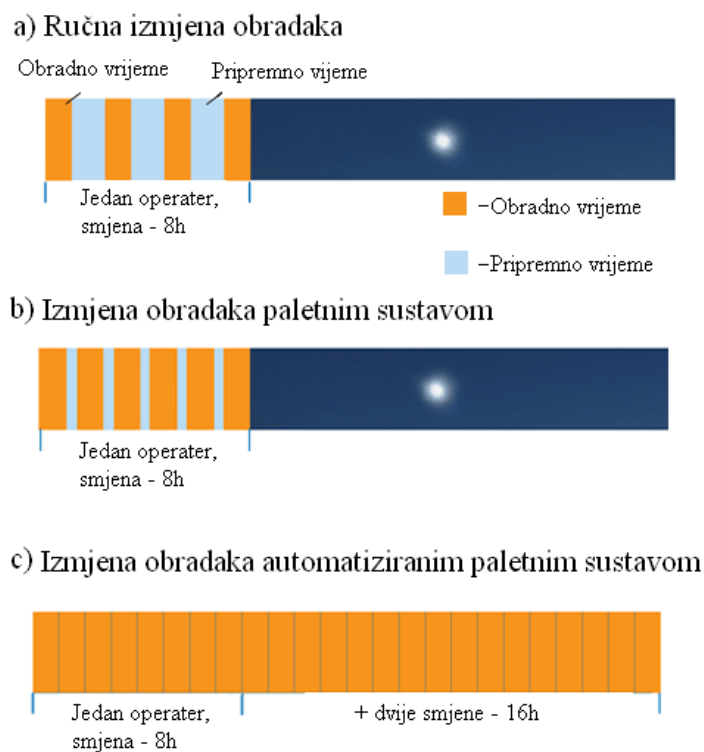
Jedan od izazova u suvremenoj industriji jest povećanje rentabilnosti i fleksibilnosti postojeće opreme. Jedan on načina za ostvarivanje tih ciljeva jest paletizacija sustava. U suvremenoj proizvodnji vrijeme zauzetosti obradnog stroja se uglavnom dijeli na obradu koja oduzima 50% ukupnog vremena, stezanje i pozicioniranje 24% ukupnog vremena, izmjena obradaka 16% ukupnog vremena, izmjena alata 7% ukupnog vremena, a preostalih 3% ukupnog vremena se potroši na sve ostale radnje. Grafički prikaz zauzetosti obradnog stroja nalazi se na Slika 59. [21] Primjenom paletnog sustava nastoji se smanjiti vrijeme izmjene, stezanja i pozicioniranja obratka, koje iznosi ukupno 40% zauzetosti obradnog stroja. Postignute uštede vremena na operacijama rukovanja obratkom potrebno je iskoristiti u svrhu povećanja vremena obrade, jer jedino ta operacija povećava vrijednost obratka.



Slika 59. Zauzetost obradnog stroja u suvremenoj proizvodnji [21]

Primjenom paletnih sustava za izmjenu obradaka postižu se značajne uštede pripremnog vremena, prvenstveno jer se postupak stezanja i pozicioniranja obratka vrši neovisno o radu stroja, stoga se ne oduzima od obradnog vremena obradnog stroja. Drugi veliki razlog je brza i točna izmjena obradaka primjenom referentnih sustava. Upravo iz tih razloga primjena paletnih sustava povećava fleksibilnost obradnog stroja. Primjena paletnog sustava omogućuje brz prijelaz sa jednog proizvodnog programa na drugi. Zahvaljujući kraćem vremenu izmjene obradaka, obradni stoj ima veći potencijal radnog vremena, što

efektivno znači proizvedeno više proizvoda u jednom radnom danu. Primjenom automatske izmjene paleta, omogućen je rad stroja u sve tri smjene i vikendom i praznikom bez prisutnosti operatera. Grafički prikaz ušteda i prednosti paletnog sustava prikazan je na Slika 60.

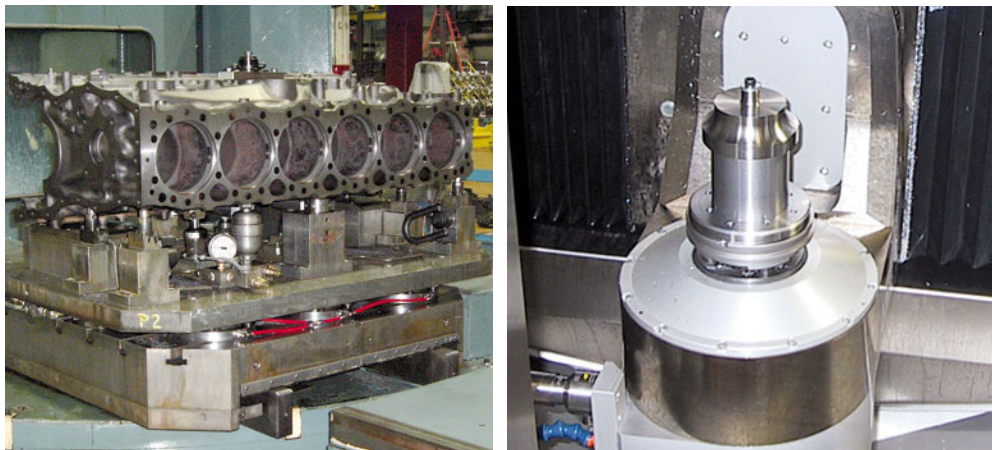


**Slika 60. Grafički prikaz ušteda primjenom paletnog sustava [21]**

Primjena paletizacije nalazi se u brojnim granama industrije, gdje god se javlja potreba za brzim i točnim izmjenama obradaka, a najčešće kod CNC obrade odvajanjem čestica, te obrade elektroerozijom žicom i žigom, i izmjene alata kod elektroerozije žigom. U nastavku su prikazani primjeri paletizacije u automobilske industriji, zrakoplovnoj industriji, proizvodnji za medicinsku primjenu, te kod proizvodnje satova.

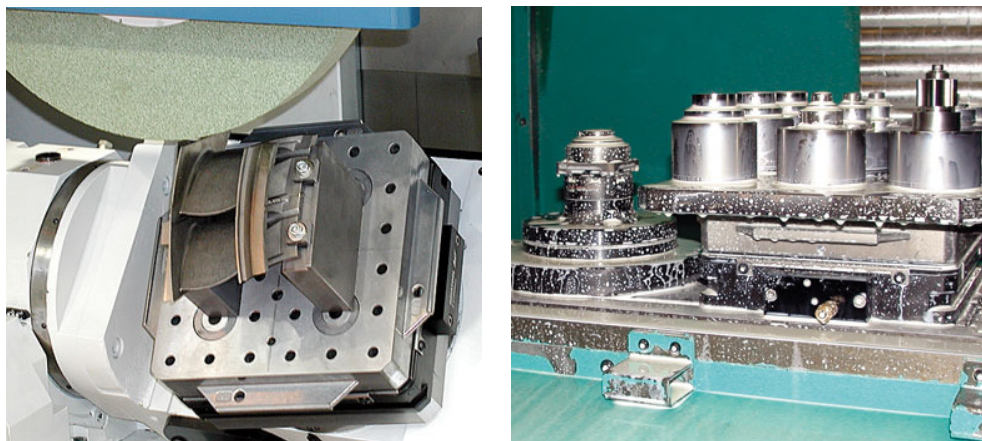
Karakteristike automobilske industrije su: visoko automatizirana proizvodnja, visoki zahtjevi za stabilnosti proizvodnog procesa, kompleksna geometrija, te je vrlo važna pouzdanost reznog alata. Na Slika 61 lijevo prikazana je paletizacija posebno konstruirane stezne naprave kako bi se reduciralo pripremno vrijeme, obradak je blok dizelskog motora, a

obrada se vrši na obradnoj čeliji. Automatizacija izmjene obradaka integrirana je u obradnu čeliju. Na Slika 61 desno, prikazana je paletizacija koja omogućuje obradu na 5-osnom stroju u jednom stezanju. [21]



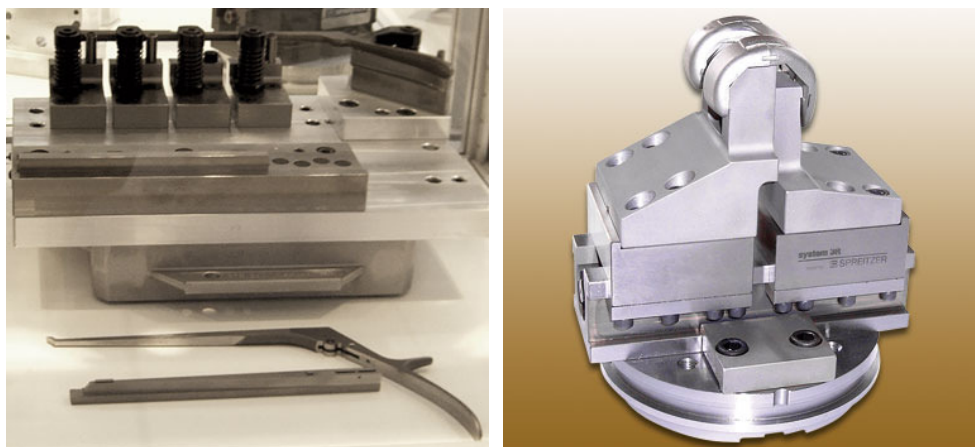
**Slika 61. Primjena paletizacije u automobilske industriji [21]**

Karakteristike zrakoplovne industrije su primjena visokotehnoloških materijala, male proizvodne serije, visoki zahtjevi za stabilnosti proizvodnog procesa, zahtjevna geometrija, česta obrada dijelova velikih dimenzija. Na Slika 62 lijevo, prikazana je potpuno automatizirano mjerenje i obrada na profilnoj brusilici. Obradak je segment propelera zrakoplovnog motora, obradak je stegnut na paletu pomoću posebno izrađene stezne naprave. Automatska izmjena paleta vrši se pomoću industrijskog robota. Na Slika 62 desno, prikazana je paletizacija više obradaka, kućišta raketnog motora. Obrada se vrši na 3-osnoj glodalici uz primjenu VDP prihvaćanja palete. [21]



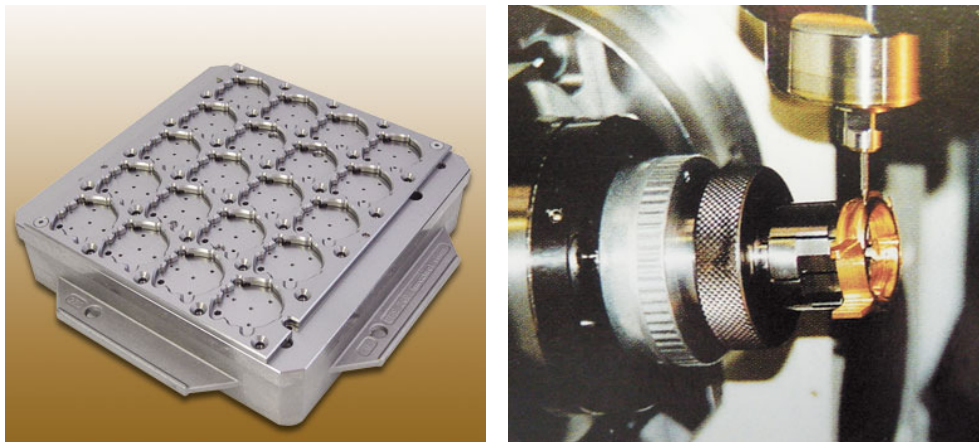
**Slika 62. Primjena paletizacije u zrakoplovnoj industriji [21]**

Karakteristike proizvodnje za medicinsku primjenu: visoki zahtjevi podobnosti proizvodnog procesa, visoki zahtjevi kvalitete, obrada teško obradivih materijala, uredna dokumentacija proizvoda. Na Slika 63 lijevo prikazana je primjena paletizacije pri izradi kirurškog instrumenta. Za proizvod su bitne tolerancije geometrije. Obrada se vrši na 5-osnoj obradnoj ćeliji, a automatska izmjena paleta vrši se manipulatorom. Na Slika 63 desno prikazan je implant za koljeno. Obradak je stegnut u standardnu steznu napravu, a obrada osnovne geometrija se odvija u jednom stezanju na 5-osnom obradnom stroju.



**Slika 63. Primjena paletizacije u medicinskoj industriji [21]**

Karakteristike proizvodnje satova su: male serije za skupe i visoko-kvalitetne satove, obrada skupih materijala, vrlo mali proizvodi zahtjevnosti izrade, zahtjevno rukovanje obradcima, koristi se posebna vrsta SHIP-a. Na Slika 64 lijevo prikazana je paletirana stezna naprava za prihvatanje 20 obradaka za potpuno automatiziranu proizvodnju koja uključuje i čišćenje obratka. Na Slika 64 desno prikazana je obrada kućišta za sat. Materijal je zlatna legura. Primjenom paletizacije značajno je smanjeno vrijeme izmjene steznih naprava na stroju.



**Slika 64. Primjena paletizacije pri izradi satova [21]**

U nastavku su opisana provedena mjerenja izmjene obradaka konvencionalnim postupkom, ručnom izmjenom paleta, i automatskom izmjenom paleta. Rezultati su uspoređeni rezultati i napravljan je okvirni proračun proizvodnosti i isplativosti obradnog stroja uz primjenu paleta.

#### **4.1. Konvencionalna izmjena obradaka na klasičnom numerički upravljanom obradnom stroju**

Simulirana je konvencionalna (ručna) izmjena tri različita obratka na klasičnom numerički upravljanom obradnom stroju, u svrhu mjerenja ukupnog vremena izmjene obradaka.

**Prva izmjena obradaka.** Izmjena započinje skidanjem gotovog izratka i čišćenjem radnog stola obradnog stroja od odvojenih čestica i SHIP-a. Radni stol i gotovi izradak, te sve stezne elemente koji su bili na radnom prilikom obrade, potrebno je pedantno očistiti. Na Slika 65 prikazan je: lijevo: radni stol nakon završetka obrade; desno: čišćenje obratka od odvojenih čestica zrakom.

Zbog velike mase, gotov izradak se uklanja sa radnog stola pomoću dizalice i magnetskog prihvata. Na isti način se uklanja i stezna naprava. Na Slika 66 prikazano je, gore lijevo: priхват obratka pomoću magneta; gore desno: uklanjanje obratka; dolje lijevo: prihvat škripca pomoću magneta; dolje desno: uklanjanje škripca.





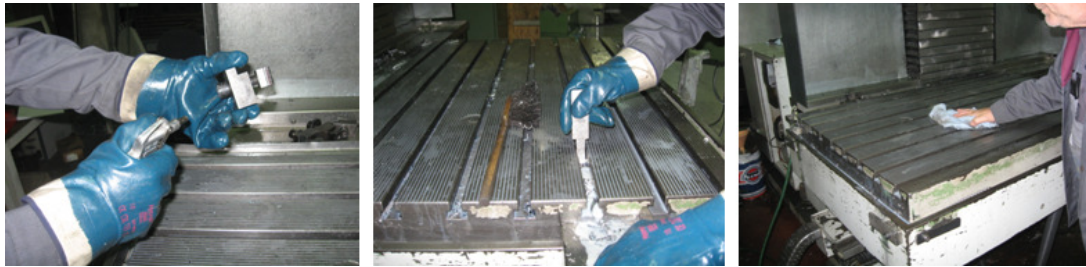
**Slika 65. Radni stol nakon obrade i čišćenje gotovog izratka**



**Slika 66. Uklanjanje gotovog izratka i stezne naprave sa radnog stola obradnog stroja**

Nakon uklanjanja i čišćenja obratka i stezne naprave, potrebno je temeljito očistiti radni stol od odvojene čestice, kako prilikom sljedećeg stezanja ne bi došlo do zamaka prilikom stezanja zbog naslanjanja stezne naprave na zaostalu odvojenu česticu. Na Slika 67

prikazano je, lijevo: čišćenje steznih elemenata; sredina: čišćenje T-utora na radnom stolu; desno: čišćenje površine radnog stola.



**Slika 67. Čišćenje steznih elemenata i radnog stola**

Na čist radni stol postavlja se stezna naprava za prihvat slijedećeg obratka. U ovom slučaju tokarska glava, odnosno amerikaner  $\varnothing 250$  mm, za prihvat cilindričnog obratka. Na Slika 68 prikazano je, lijevo: pričvršćivanje stezne naprave na radni stol; desno: stezanje obratka na steznu napravu.



**Slika 68. Postavljanje stezne naprave i stezanje obratka**





**Slika 69. Definiranje nul-točaka obratka**

Zatim slijedi pozicioniranje obratka i definiranje nul-točaka. Na Slika 69 prikazano je, lijevo: definiranje nul-točaka u X-osi i Z-osi; desno: definiranje nul-točke Y-osi. Nakon unošenja nul-točaka u upravljačku jedinicu NU obradnog stroja, potrebno je postaviti zaštitu na obradni stroj i započeti obradu. Na Slika 70 prikazano je postavljanje zaštite na obradni stroj.



**Slika 70. Postavljanje zaštite na NU obradni stroj**

**Druga izmjena obradaka.** Nakon obrade ponovo je potrebno ukloniti i očistiti radni stol, gotov izradak i sve stezne elemente. Na Slika 71 prikazano je, lijevo: čišćenje steznih elemenata; desno: čist radni stol spreman za stezanje novog obratka. Ovaj put se obrađuje pločasti obradak koji se direktno steže na radni stol. Na Slika 72 prikazano je, lijevo: transport



obratka pomoću magneta i čišćenje obratka; sredina i desno: postupak stezanja obratka na radni stol.



**Slika 71. Čišćenje steznih elemenata i radni stol spreman za stezanje novog obratka**



**Slika 72. Transport, čišćenje i stezanje obratka**

Zatim slijedi pozicioniranje obratka na radnom stolu, te definiranje i unošenje nul-točaka obratka u upravljačku jedinicu NU obradnog stroja. Postavljanje zaštite na obradni stroj i početak obrade.

**Treća izmjena obratka.** Treći obradak za obradu jest prizmatični obradak koji se steže u škripac. Ponovo je potrebno ukloniti i očistiti gotov izradak i stezne elemente. Zatim se postavlja škripac na radni stol obradnog stroja. Škripac je potrebno precizno pozicionirati, jer o točnosti pozicioniranja stezne naprave ovisi i točnost pozicioniranja obratka. Na Slika 73 prikazano je, lijevo: stezanje stezne naprave na radni stol; desno: pozicioniranje stezne naprave.



**Slika 73. Stezanje i pozicioniranje škripca na radni stol obradnog stroja**

Zatim slijedi stezanje obratka u steznu napravu, pozicioniranje obratka, te definiranje nul-točaka obratka. Na Slika 74 prikazano je, lijevo: pozicioniranje obratka; sredina: definiranje nul-točke u X-osi; desno: definiranje nul-točke u Y-osi.



**Slika 74. Pozicioniranje i definiranje nul-točaka obratka**

#### 4.1.1. Rezultati mjerenja vremena konvencionalnom izmjenom obradaka

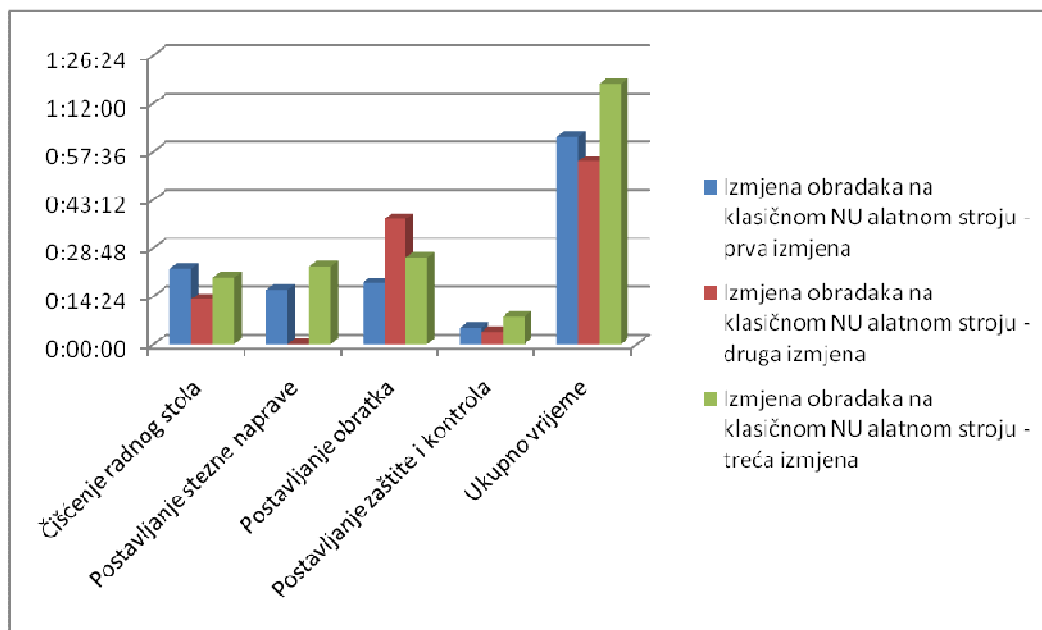
Mjerenje vremena izmjene obradaka podijeljeno je u četiri faze, a to su:

- Čišćenje radnog stola obradnog stroja - ova faza uključuje skidanje izratka i stezne naprave koji se nalaze na radnom stolu zbog prethodne obrade. Čišćenje od strugotine i SHIP-a, radnog stola obradnog stroja, izratka i svih steznih naprava i elemenata koji su bili na radnom stolu za vrijeme obrade.
- Postavljanje stezne naprave - ova faza uključuje postavljanje, stezanje i pozicioniranje stezne naprave za prihvat obratka na radni stol obradnog stroja.
- Postavljanje obratka - ova faza uključuje stezanje obratka, pozicioniranje obratka, te definiranje nul-točaka obratka.
- Postavljanje zaštite i kontrola - ova faza uključuje postavljanje zaštite na obradni stroj i konačne kontrole prije početka obrade.

Ukupno vrijeme je vrijeme izmjene obratka koje je prošlo od trenutka kada je prethodni obradak gotov s obradom, do trenutka kada je sljedeći obradak spreman za obradu. Potrebno je napomenuti da u ukupno vrijeme nije uzeto u obzir vrijeme koje se troši na izmjenu alata, već samo vrijeme izmjene obradaka. Rezultati mjerenja izmjene obradaka prikazani su u Tablica 4. Grafički prikaz usporedbe izmjerenih vremena prikazan je na Slika 75.

Tablica 4. Rezultati mjerenja vremena izmjene obradaka na klasičnom NU stroju

	Izmjena obradaka na klasičnom NU obradnom stroju -		
	prva izmjena	druga izmjena	treća izmjena
Čišćenje radnog stola	0:22:35	0:13:30	0:20:05
Postavljanje stezne naprave	0:16:17	0:00:00	0:23:14
Postavljanje obratka	0:18:19	0:37:25	0:26:02
Postavljanje zaštite i kontrola	0:04:55	0:03:43	0:08:24
Ukupno vrijeme	1:02:06	0:54:38	1:17:45
Prosječno vrijeme	1:04:50		



Slika 75. Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod ručne izmjene obradaka

#### 4.2. Ručna izmjena paleta na 5-osnom obradnom centru

Simulirana je izmjena obradaka pomoću ručne izmjene paleta *GPS240* proizvođača *System 3R*, na 5-osnom obradnom centru. Za prva tri obratka simulirana je pojedinačna proizvodnja. Za preostala tri se simulirala serijska proizvodnja, s tim da se vrijeme izmjene obratka mjeri od drugog obratka u seriji, jer za prvi obradak u seriji vrijede isti uvjeti kao i kod pojedinačne proizvodnje.

*GPS240* referentni sustav, prikazan na Slika 76, može se postaviti sve radne stolove obradnih i mjernih strojeva, bilo da se radi o glodanju, bušenju, brušenju, mjerenju itd. Nul-točka definirana je na sredini stezne čeljusti. Nul-točka obrade se tako na svakom stroju određuje preko sredine stezne čeljusti. Standardizirani uzorak otvora za položaje na paletama omogućuje stezanje obradaka steznim elementima i prihvat steznih naprava poput škripca, amerikanera ili magnetskih stolova, što smanjuje mogućnost kolizije čak i kod 5-osne obrade. Palete su izrađene od aluminija, manja masa (4 kg) olakšava ručno montiranje, no *GPS240* referentni sustav je prilagođen i za automatsku izmjenu paleta. Sustav je opremljen mehanizmom za podizanje, koji štiti referentne elemente na steznim čeljustima prilikom montiranja teških obradaka. Stezne čeljusti su zaštićene od prodiranja prljavštine između palete i stezne čeljusti, što olakšava održavanje i produžuje vijek trajanja sustava.

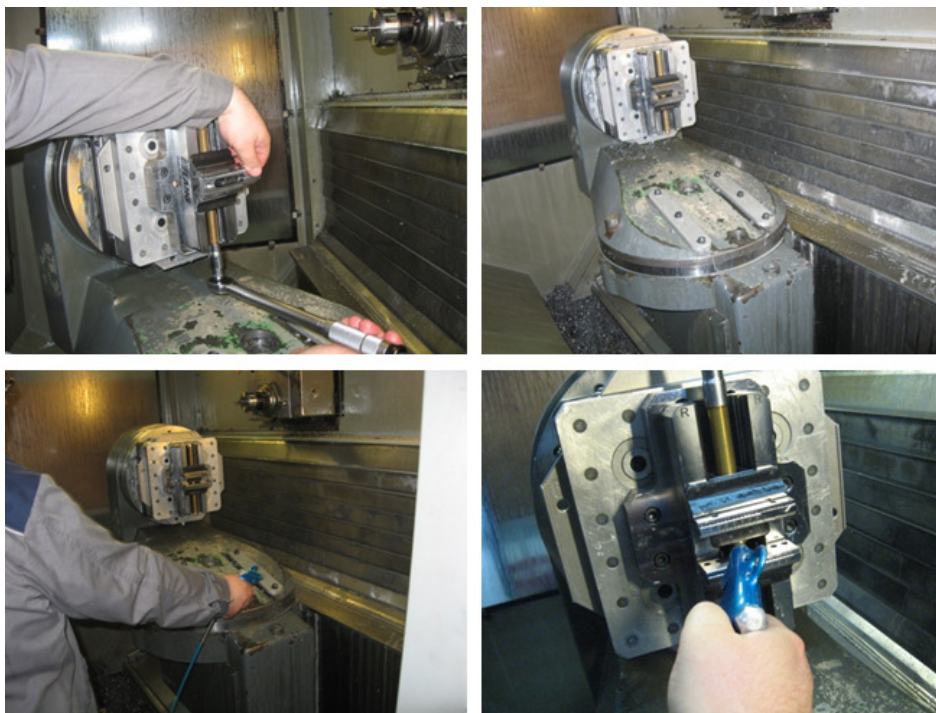


Preporučena masa obratka je do 100 kg. Točnost pozicioniranja je 0,002 mm. Sila stezanja iznosi 30 000 N do 80 000 N [21].



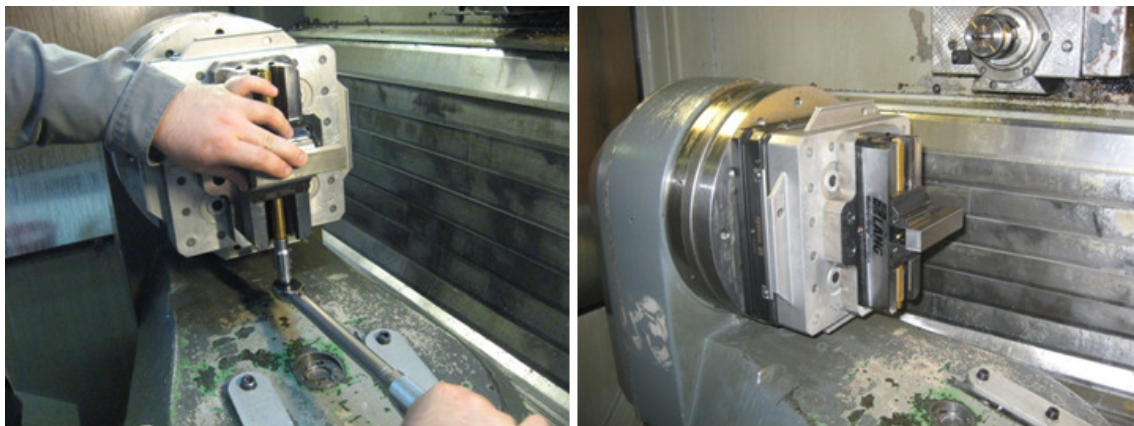
Slika 76. GPS240 referentni sustav [21]

**Prva izmjena obradaka, pojedinačna proizvodnja.** Prvi korak prilikom izmjene obratka je skidanje gotovog izratka, te čišćenje obradnog stroja i elemenata na obradnom stroju od odvojene čestice i SHIP-a. Na Slika 77 je prikazano: gore lijevo: otpuštanje gotovog izratka iz stezne naprave; gore desno: odvojena čestica u radnom prostoru obradnog stroja; dolje lijevo: čišćenje stroja pomoću zraka, dolje desno: čišćenje stezne naprave pomoću zraka.



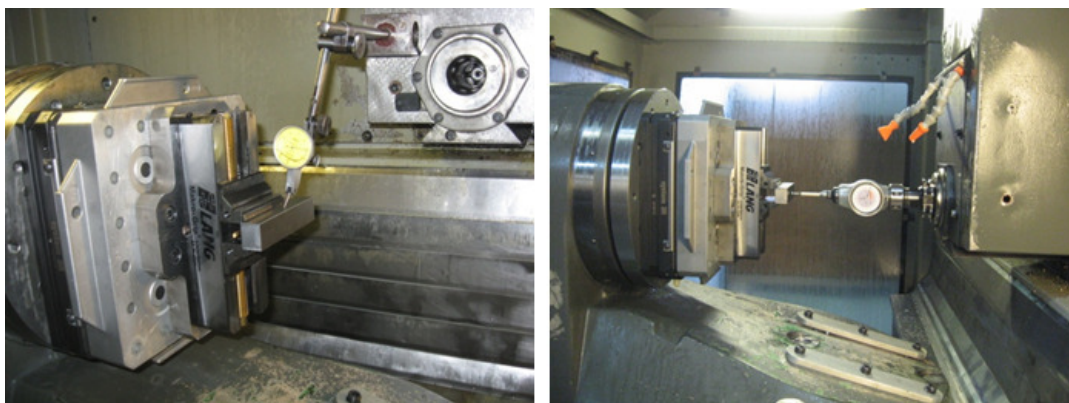
Slika 77. Otpuštanje gotovog izrazka i čišćenje obradnog stroja

Drugi korak je postavljanje stezne naprave na paletu i ručna izmjena paleta na obradnom stroju, no u ovom slučaju stezna naprava je već bila na paleti na obradnom stroju. Treći korak je stezanje obratka na škripac. Na Slika 78 je prikazano: lijevo: stezanje obratka u steznu napravu; desno: obradak u steznoj napravi.



**Slika 78. Stezanje obratka i obradak u steznoj napravi**

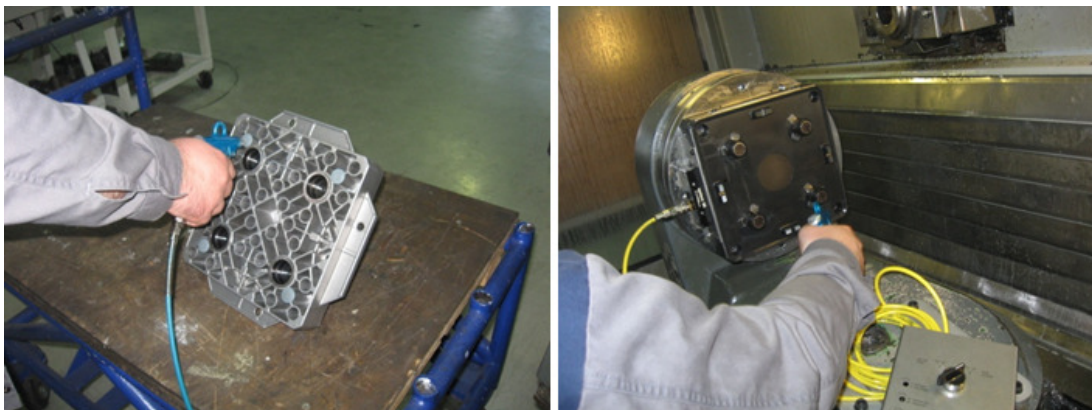
Četvrti korak je pozicioniranje obratka i definiranje nul-točaka obratka pomoću mjerne ure, te unošenje podataka u upravljačku jedinicu obradnog stroja. Na Slika 79 prikazano je: lijevo: pozicioniranje obratka; desno: definiranje nul-točke obratka.



**Slika 79. Pozicioniranje obratka i definiranje nul-točaka**

**Druga izmjena obradaka, pojedinačna proizvodnja.** Nakon vađenja gotovog izratka potrebno je očistiti od SHIP-a i odvojene čestice radni stol, gotovi izradak, prihvat

palette i sve elemente koji se vade iz radnog prostora obradnog stroja nakon obrade. Također potrebno je pažljivo očistiti paletu koja se postavlja u radni prostor obradnog stroja, pogotovo referentne elemente palette i prihvata palette kako zaostala odvojena čestica ne bi poremetila točnost pozicioniranja. Na Sliku 80 prikazano je čišćenje zrakom referentnih elemenata palette i prihvata palette.



**Slika 80. Čišćenje palette i prihvata palette**

Nakon čišćenja vrši se ručna izmjena palette. Otpuštanje palette vrši se pneumatski, pomoću aktuatora. Na Sliku 81 prikazana je izmjena palette: lijevo: paleta i stezna naprava koja se vadi iz radnog prostora obradnog stroja; sredina: pneumatski aktuator; desno: paleta i stezna naprava koja se postavlja u radni prostor obradnog stroja. Zatim slijedi stezanje obratka u steznu napravu, što se moglo izvršiti i van radnog prostora obradnog stroja, te pozicioniranje obratka i definiranje nul-točaka obratka.

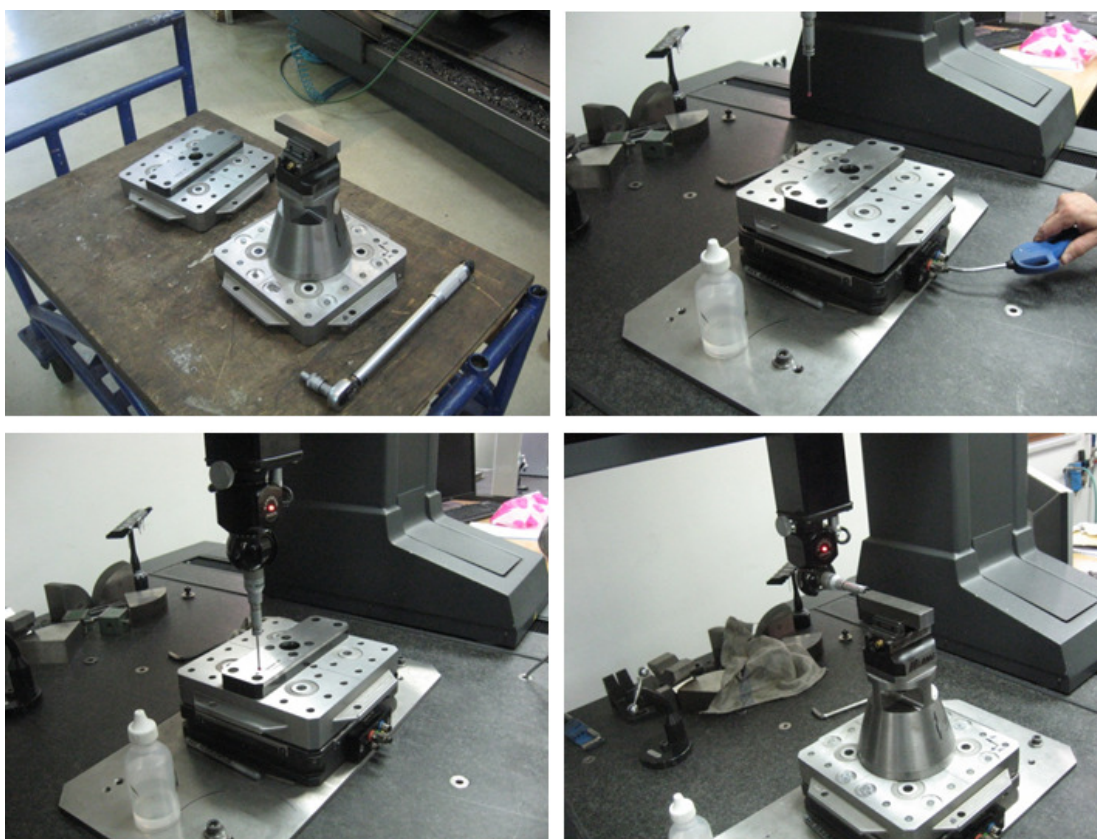


**Slika 81. Ručna izmjena palette i pneumatski aktuator**

**Treća izmjena obradaka, pojedinačna proizvodnja.** Treći obradak mjereno je preko 3D mjernog uređaja koji preko kontrolne palette mjeri nul-točke palette, te nakon mjerenja

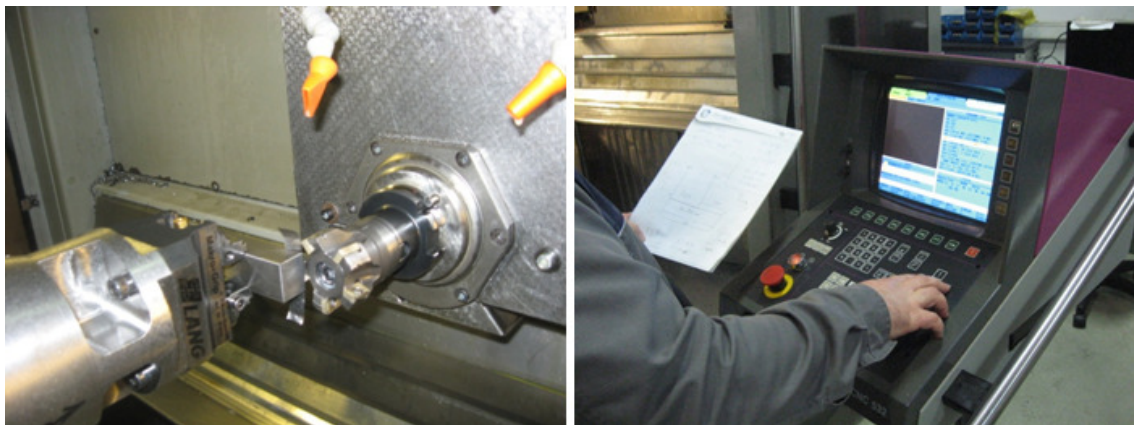


palette sa stegnutim obratkom izračunava položaj nul-točaka na x-osi i y-osi obratka koje se zatim unose u upravljačku jedinicu obradnog stroja. Nul-točka obratka z-osi (dubina) mjeri se na obradnom stroju. Kontrolna paleta se prvo postavlja na obradni centar, te se preko kontrolne palette korigira zamak A-osi i C-osi obradnog stroja u odnosu na nul-točku palette. Kontrolna paleta se zatim mjeri na 3D mjernom uređaju, kako bi se definirala nul-točka palette na mjernom uređaju. Nakon nje se na mjerni uređaj se postavlja paleta sa stegnutim obratkom, te mjeri i izračunava nul-točka obratka. Dobivene vrijednosti se ručno unose u upravljačku jedinicu obradnog stroja, no moguće je i automatizirano prenošenje podataka na obradni stroj putem mreže. Na Slika 82 prikazane su: gore lijevo: kontrolna paleta i paleta sa stegnutim obratkom; gore desno: postavljanje kontrolne palette na 3D mjerni uređaj; dolje lijevo: mjerenje nul-točke kontrolne palette, koja se poklapa sa nul-točkama ostalih palette; dolje desno: mjerenje nul-točke obratka. Na Slika 83 prikazano je određivanje nul-točke z-osi pomoću mjernog lima i unošenje svih nul-točki u upravljačka jedinica obradnog stroja.



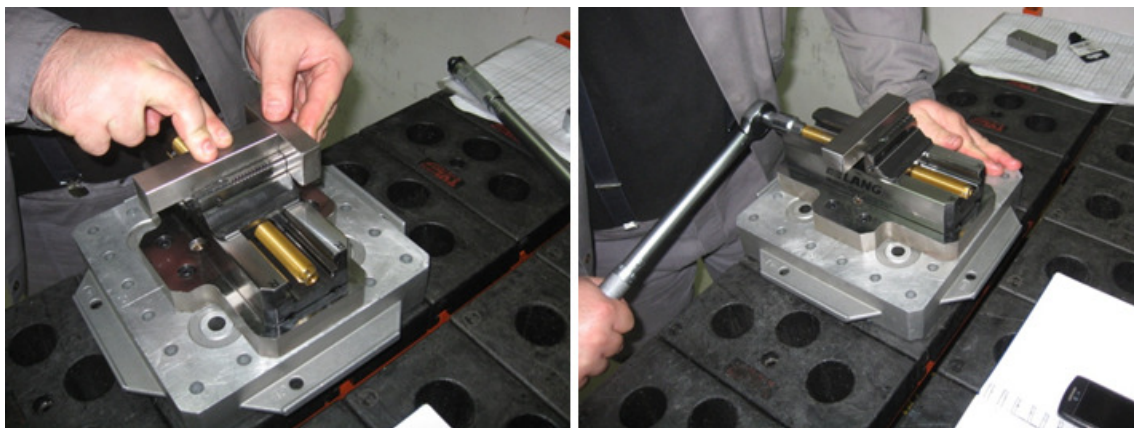
**Slika 82. Određivanje nul-točaka obratka preko 3D mjernog uređaja**





**Slika 83. Određivanje nul-točke z-osi i unošenje podataka u upravljačku jedinicu obradnog stroja**

**Izmjena obradaka, serijska proizvodnja.** Kod serijske proizvodnje postavljanje steznih naprava na paletu vrši se van radnog prostora obradnog stroja. Mjerenje i unošenje nul-točaka obradaka vrši se samo za prvi obradak u seriji, jer svi obratci stežu se uz pomoć graničnika na isti način. Potrebno je napomenuti da se vrši obrada po 'otvorenim mjerama', dakle nema toleriranih mjera. Također ostavljen je dodatak na obradu, kojim se, među ostalim, eliminiraju razlike prilikom stezanja. Prema izmjerenim podacima upravo definiranje nul-točaka obradaka oduzima najviše vremena kod ručne izmjene paleta u pojedinačnoj proizvodnji. U ovom slučaju stezanje svih obradaka vršilo se naizmjenično na jednoj paleti. Uz dovoljan broj paleta i steznih naprava stezanje obradaka može se vršiti van radnog prostora obradnog stroja. Na Slika 84 prikazano je stezanje obratka u steznu napravu na paleti uz pomoć graničnika.



**Slika 84. Stezanje obratka uz pomoć graničnika**

#### 4.2.1. Rezultati mjerenja vremena izmjene obradaka ručnom izmjenom paleta

Mjerenje vremena ručne izmjene paleta podijeljeno je u četiri faze:

- Čišćenje stroja - čišćenje obradnog stroja, palete, prihvata palete i svih elemenata što su bili unutar radnog prostora obradnog stroja za vrijeme obrade.
- Ručna izmjena paleta - ova faza sastoji se od priključivanja aktuatora na prihvata palete, otpuštanja palete, skidanja palete, čišćenja referentnih elemenata palete i prihvata palete, postavljanje nove palete i stezanje pomoću aktuatora.
- Stezanje obratka - faza se sastoji od postavljanja stezne naprave na paletu, što se uglavnom obavlja van obradnog stroja tako da ne oduzima vrijeme, te stezanja obratka u steznu napravu na paleti.
- Definiranje nul-točke obratka - ova faza se sastoji od pozicioniranja obratka, traženja nul-točke obratka, te unošenja podataka preko upravljačke jedinice obradnog stroja.

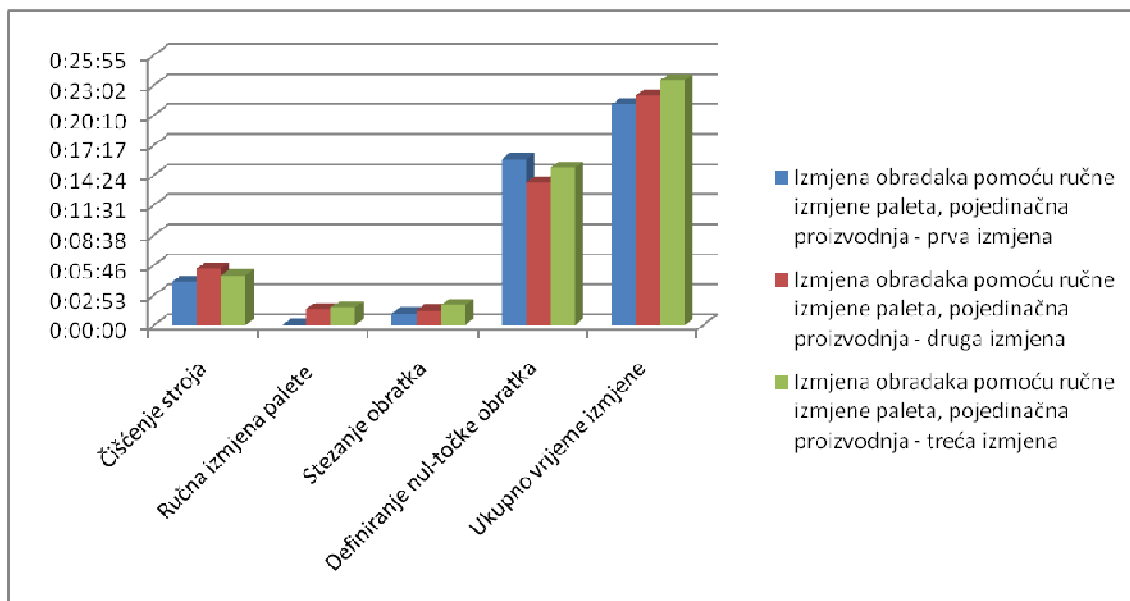
Tablica 5. Rezultati mjerenja vremena ručne izmjene paleta kod pojedinačne proizvodnje

	Izmjena obradaka pomoću ručne izmjene paleta, pojedinačna proizvodnja -		
	prva izmjena	druga izmjena	treća izmjena
Čišćenje stroja	0:04:10	0:05:25	0:04:47
Ručna izmjena palete	0:00:00	0:01:33	0:01:42
Stezanje obratka	0:01:07	0:01:23	0:01:55
Definiranje nul-točke obratka	0:15:54	0:13:42	0:15:06
Ukupno vrijeme izmjene	0:21:11	0:22:03	0:23:30
Prosječno vrijeme izmjene	0:22:15		

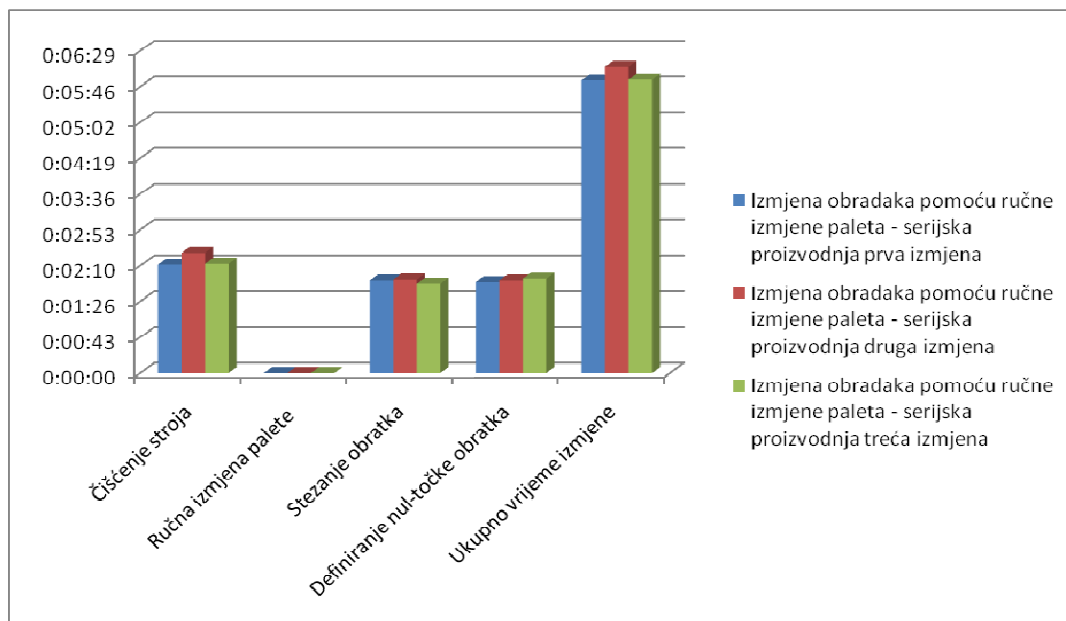
Tablica 6. Rezultati mjerenja vremena ručne izmjene paleta kod serijske proizvodnje

	Izmjena obradaka pomoću ručne izmjene paleta - serijska proizvodnja		
	prva izmjena	druga izmjena	treća izmjena
Čišćenje stroja	0:02:11	0:02:25	0:02:12
Ručna izmjena palete	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Stezanje obratka	0:01:52	0:01:53	0:01:48
Definiranje nul-točke obratka	0:01:50	0:01:52	0:01:54
Ukupno vrijeme izmjene	0:05:53	0:06:10	0:05:54
Prosječno vrijeme izmjene	0:05:59		

Rezultati mjerenja vremena ručne izmjene paleta kod pojedinačne proizvodnje nalaze se u Tablica 5, a grafički prikaz rezultata prikazan je na Slika 85. Rezultati mjerenja ručne izmjene paleta kod serijske proizvodnje nalaze se u Tablica 6, a grafički prikaz usporedbe rezultata prikazan je na Slika 86.



**Slika 85. Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod ručne izmjene paleta, pojedinačna proizvodnja**



**Slika 86. Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod ručne izmjene paleta, serijska proizvodnja**

### 4.3. Automatska izmjena paleta

Vrijeme automatske izmjene paleta mjereno je na obradnoj ćeliji *Hermle C30U*, prikazan na Slika 87. Izmjena paleta vrši se pomoću *System 3R Wokrmaster* manipulatora, prikazan na Slika 51. Na obradnoj ćeliji se serijski proizvode sapnice za nuklearna postrojenja. Sapnice služe za pridržavanje i hlađenje gorivih šipki i ulaze u samu rektorsku jezgru. Proizvodnja se odvija u 3 smjene, s tim se operater nalazi uz stroj u jednoj smjeni. Sustav za automatsku izmjenu obradaka opremljen je *Delphin* referentnim sustavom proizvođača *System 3R*. Referentni sustav ima mogućnost prihvata manjeg referentnog sustava, *GPS 240* istog proizvođača (*GPS240* referentni sustav je opisan u poglavlju 4.2). Paleta se skladište u modularno skladište. Kapacitet skladišta je 20 *GPS240* paleta i 5 *Delphin* paleta, od kojih jedno mjesto zauzima adapter za prelaz sa *Delphin* na *GPS240* referentni sustav. Na Slika 88 prikazana je sapnica koja se nalazi na posebno izrađenoj steznoj napravi, na *GPS240* paleti. Paleta se nalazi na adapteru za prihvat *GPS240* palete. Adapter se nalazi na referentnoj bazi *Delphin* referentnog sustava koja je pričvršćena na radni stol obradne ćelije.



Slika 87. Obradna ćelija Hermle C30U [24]





**Slika 88.** Sapnica za prihvrat i hlađenje gorivih šipki u jezgri nuklearnog reaktora

*Delphin* je modularni referentni sustav za prihvrat obradaka do 2 000 kg. Sila stezanja iznosi 15 kN, a sila pridržavanja obratka 60 kN. Prilagođen je za automatizaciju izmjene paleta, te ima sustav zaštite referentnih elemenata prihvata palete i palete. Točnost pozicioniranja iznosi 0,005 mm. Ima mogućnost prihvata adaptera za prijelaz na manje referentne sustave.

Postupak automatske izmjene paleta sastoji u ovom slučaju se odvija kako slijedi: Nakon završetka obrade, vrši se automatska izmjena alata. Iz magazina alata uzima se alat za ispuhivanje, prikazan na Slika 89, kojim se sa obratka uklanja strugotina i SHIP. Nakon ispuhivanja obratka slijedi odmicanje alata i otvaranje vrata obradnog stroja. Radni stol se podiže i dovodi u poziciju za prihvrat palete. Prihvatnica robota prihvaća paletu, a pneumatski sustav otpušta paletu sa referentne baze. Robot podiže paletu, a istovremeno pneumatski sustav čisti referentne elemente palete i prihvata palete. Robot sprema paletu u spremište. Robot prihvaća novu paletu, s unaprijed pripremljenim obratkom, i postavlja je na referentnu

bazu za prihvat palete u radni prostor obradne ćelije, pneumatski sustav čisti referentne elemente palete i prihvata palete. Pneumatski sustav steže paletu. Prihvatnica robota se odmiče i zatvaraju se vrata obradne ćelije. Obradak je spreman za obradu. Snimka automatske izmjene paleta nalazi se na CD-u u prilogu.



Slika 89. Alat za ispuhivanje

Postupak automatske izmjene referentnih sustava sa većeg (*Delphin*) na manji (*GPS240*) referentni sustav odvija se kako slijedi: nakon što su ostvareni uvjeti za izmjenu paleta (zaustavljen obradni stroj, otvorena vrata radnog prostora obradnog stroja) pomoću robota, s prihvatnicom prilagođenom za manipulaciju paletama *Delphin* referentnog sustava, prihvaća se paleta. Preko pneumatskog sustava paleta se otpušta. Paleta se pomoću robota izuzima iz radnog prostora obradnog stroja i sprema se u spremište. Zatim se, pomoću robota, prihvaća adapter za prihvat *GPS240* referentnog sustava i postavlja se na referentnu bazu, odnosno stezne čeljusti *Delphin* referentnog sustava. Adapter ima ugrađenu referentnu bazu, odnosno stezne čeljusti *GPS240* referentnog sustava. Pomoću pneumatski sustava se vrši stezanje adaptera. Vršiti se izmjena prihvatnice robota, uzima se prihvatnica za manipuliranje *GPS240* paletama. Pomoću robota se iz skladišta izuzima *GPS240* paleta i postavlja se u radni prostor obradnog stroja. Snimka automatske izmjene sa većeg (*Delphin*) na manji (*GPS240*) referentni sustav nalazi se na CD-u u prilogu.

#### 4.3.1. rezultati mjerenja vremena izmjene obradaka automatskom izmjenom paleta

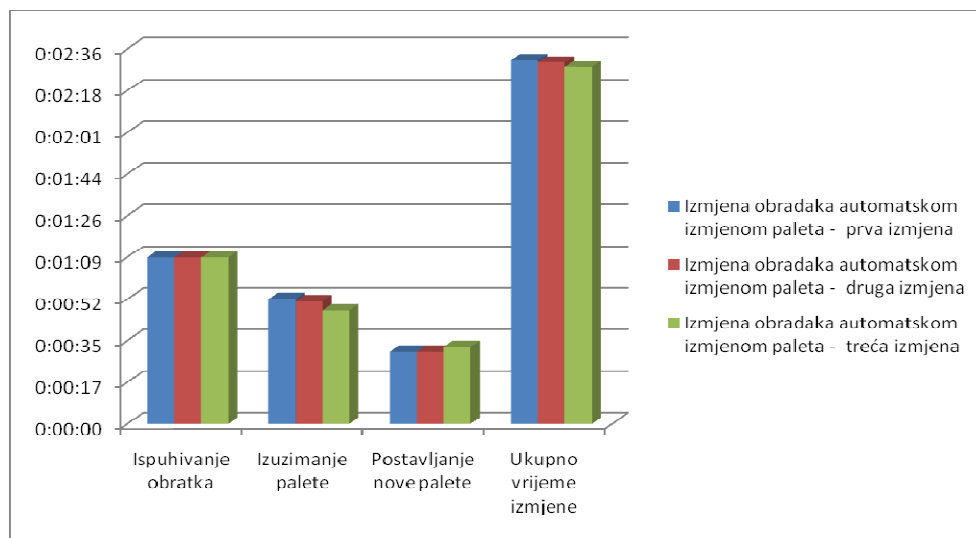
Vrijeme izmjene obradaka automatskom izmjenom paleta je podijeljeno na slijedeće faze:

- Ispuhivanje obratka - ispuhivanje obratka prema programu pomoću alata za ispuhivanje.
- Izuzimanje palete - izuzimanje palete iz radnog prostora obradne ćelije pomoću robota i spremanje u skladište.
- Postavljanje nove palete - prihvatanje nove palete iz skladišta pomoću robota i postavljanje u radni prostor obradne ćelije.

Svaka od faza se odvija prema unaprijed određenom programu, zbog toga se ne očekuju veće razlike u vremenima izmjene obradaka automatskom izmjenom paleta. Na razliku u vremenu trajanja automatske izmjene paleta najviše utječe udaljenost paleta u skladištu. Rezultati mjerenja vremena automatske izmjene paleta nalaze se u Tablica 7, a grafički prikaz rezultata prikazan je na Slika 90.

**Tablica 7. Rezultati mjerenja vremena automatske izmjene paleta**

	Izmjena obradaka automatskom izmjenom paleta -		
	prva izmjena	druga izmjena	treća izmjena
Ispuhivanje obratka	0:01:09	0:01:09	0:01:09
Izuzimanje palete	0:00:52	0:00:51	0:00:47
Postavljanje nove palete	0:00:30	0:00:30	0:00:32
<b>Ukupno vrijeme izmjene</b>	<b>0:02:31</b>	<b>0:02:30</b>	<b>0:02:28</b>
<b>Prosječno vrijeme izmjene</b>	<b>0:02:30</b>		



**Slika 90. Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena kod automatske izmjene paleta**

#### 4.4. Postupak izrade elektrode za EDM i primjena paletizacije

Elektroerozijska obrada, odnosno EDM (e. *electric discharge machining*) je nekonvencionalni postupak obrade odvajanjem. Postupak se dijeli na elektroeroziju pomoću žice i elektroeroziju pomoću žiga. Princip rada postupka sastoji se u električnom pražnjenju između elektroda: alata (katode) i obradka (anode), priključenih na istosmjernu struju i uronjenih u dielektričnu tekućinu. Na mjestu preskakanja iskre dolazi do zagrijavanja, taljenja i isparavanja materijala obradka. Temperature su 6 000 – 12 000 °C. [14]

Dielektrična tekućina (tehnička voda ili mineralno ulje) je izolator koji kod određenog napona (do 500 V) omogući električno pražnjenje među elektrodama. Drugi zadatak dielektrika je da u neprestranoj struji odnosi produkte izgaranja. Zbog toga se mora filtrirati i hladiti. Alat se izrađuje od bakrenih legura ili grafita, složenog je oblika jer je “negativ” dijela koji se obrađuje i prilikom obrade se troši pa se mora mijenjati. Kod CNC upravljanja, u određenim slučajevima alat može biti i jednostavnih oblika. EDM postupak se primjenjuje pri obradi teškoobradivih, ali elektrovoljivih materijala (npr. kaljeni čelik i tvrdi metal) i pri obradi površina kompliciranog oblika (npr. alati, kalupi, ukovnji i dijelovi turbina). [14]

Alat za elektroeroziju žigom (elektroda) izrađuje se na numerički upravljanim glodalicama. Prije obrade sirovac se steže na paletu, na kojoj ostaje za vrijeme obrade, za vrijeme mjerenja gotovog izratka, i za vrijeme obrade elektroerozijom. Na taj način se postižu



velike uštede na pripremnim vremenima. Primjenom paletizacije elektroda se brzo i jednostavno prebacuje iz obradnog stoja, 3D na mjerni uređaj, a zatim na erozimat. Na Slika 91 prikazana je elektroda na obradnom stroju nakon obrade. Obratci se nalaze na paletama, a ručna izmjena paleta tj. vađenje paletiranog gotovog izratka i postavljanje paletiranog sirovca traje oko 2 minute. Stroj nije potrebno posebno čistiti, jer se samostalno čisti tijekom obrade.



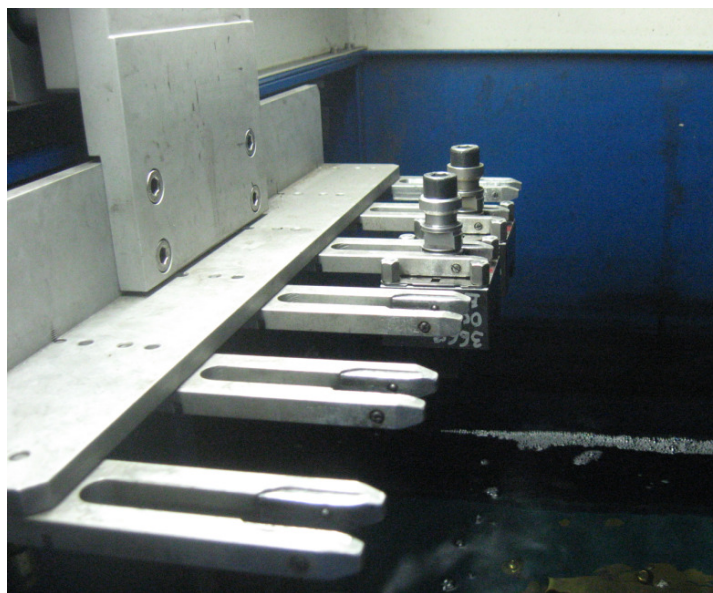
**Slika 91. Elektroda za EDM nakon izrade na obradnom stroju**

Nakon izrade, elektrodu je potrebno izmjeriti na 3D mjernom uređaju kako bi se provjerila točnost geometrije i dimenzija, također istovremeno se definiraju nul-točke elektrode, koje se unose u upravljačku jedinicu erozimata. Na Slika 92 prikazana je elektroda na 3D mjernom uređaju. Mjerenje elektrode na 3D mjernom uređaju traje oko 30 sekundi.

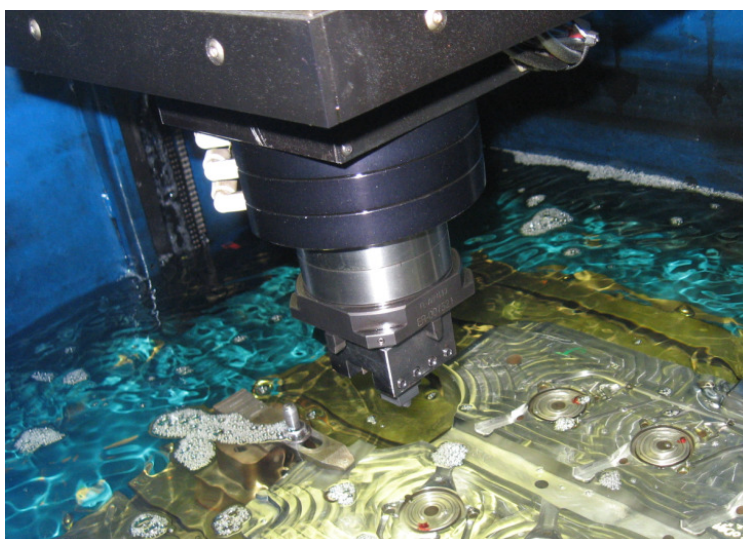


**Slika 92. Mjerenje elektrode na 3D mjernom uređaju**

Nakon mjerenja elektroda se sprema u spremište alata erozimata koje je prikazano na Slika 93. Elektrode u spremištu alata su paletirane. Izmjena alata na erozimat u se vrši automatski, a traje oko 30 sekundi. Na slici Slika 94 prikazana je paletirana elektroda na glavnom vretenu erozimata.



**Slika 93. Spremište alata na erozimat u**



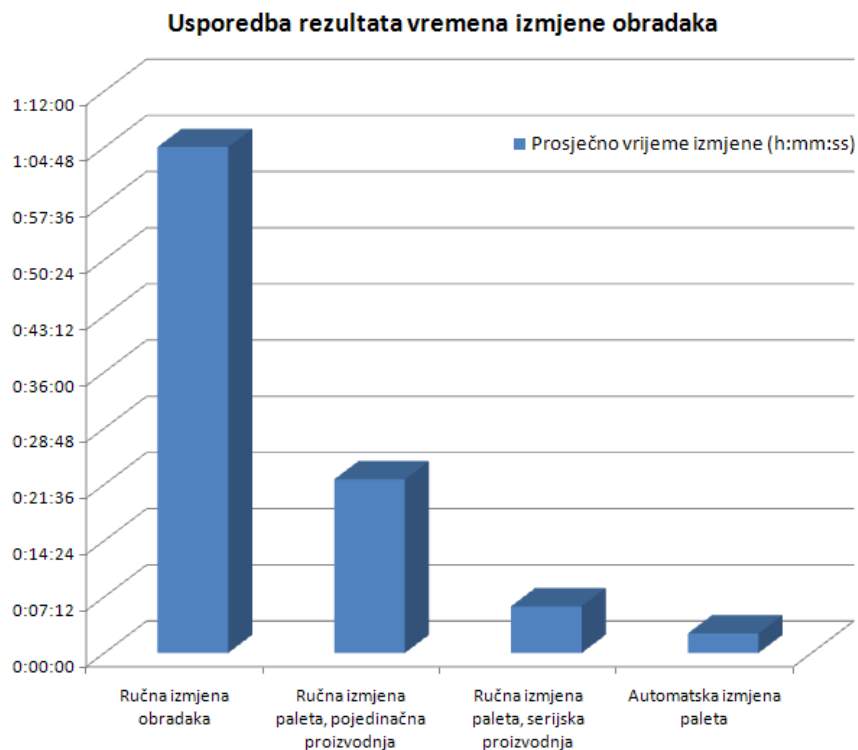
**Slika 94. Paletirana elektroda u glavnom vretenu erozimata**

#### 4.5. Usporedba rezultata i proračun proizvodnosti i rentabilnosti obradnog stroja

Provedena mjerenja pokazala su velike uštede na pripremnom vremenu izmjenom obradaka paletnim sustavom, bilo da se radi o ručnoj ili automatskoj izmjeni paleta u odnosu na konvencionalni postupak izmjene obradaka. Veće uštede postižu se za serijsku proizvodnju, jer postupak centriranja obratka, definiranja nul-točaka obratka i unošenja nul-točaka obratka u upravljačku jedinicu potrebno obaviti samo za prvi obradak u seriji. U Tablica 8 prikazana je usporedba rezultata mjerenja vremena izmjene obradaka, a na Slika 95 nalazi se grafički prikaz usporedbe dobivenih rezultata.

Tablica 8. Dobiveni rezultati mjerenja vremena izmjene obradaka

	Ručna izmjena obradaka	Ručna izmjena paleta, pojedinačna proizvodnja	Ručna izmjena paleta, serijska proizvodnja	Automatska izmjena paleta
<b>Prosječno vrijeme izmjene (h:mm:ss)</b>	1:04:50	0:22:15	0:05:59	0:02:30



Slika 95. Grafički prikaz usporedbe rezultata mjerenja vremena izmjene obradaka

U nastavku je proveden jednostavan okvirni proračun proizvodnosti obradnog stroja i rentabilnosti obradnog stroja, sagledan sa strane isplativosti izmjene obradaka paletizacijom obradnog stroja. U Tablica 9 prikazani su rezultati proračuna proizvodnosti obradnog stroja na kojem se vrši konvencionalna (ručna) izmjena obradaka, izmjena obradaka pomoću paleta, i obradnog stroja na kojem se vrši izmjena obradaka automatskom izmjenom paleta. U Tablica 10 prikazani su rezultati proračuna rentabilnosti obradnog stroja na kojem se vrši konvencionalna (ručna) izmjena obradaka, obradnog stroja na kojem se vrši izmjena obradaka pomoću paleta, i obradnog stroja na kojem se vrši izmjena obradaka automatskom izmjenom paleta.

Za potrebe proračuna uzima se da za vrijeme izrade proizvoda potrebno 1h. Jedan operater radi na jednom stroju u jednoj smjeni. Ručna izmjena obradaka traje 1h, izmjena obradaka pomoću paleta traje 20 min, automatska izmjena paleta traje 2,5 min. U vrijeme izmjene obratka uračunata su slijedeća vremena: dopreme obradaka, otprema obratka, raspremanje stroja, ulaganje, centriranje i stezanje obradaka, vrijeme definiranja i unošenja nul-točaka obratka, skidanje i odlaganje obratka.

Za potrebe proračuna zanemarena su ostala pomoćna vremena poput: pripreme stroja, doprema mjernog i reznog alata, doprema dokumentacije, proučavanje dokumentacije, povrat alata, povrat dokumentacije i obračun rada, namještanje i podešavanje alata, vrijeme automatske izmjene alata, primicanje i odmicanje alata, zaustavljanje stroja (mjerenje i pokretanje), zaustavljanje stroja radi promjene frekvencije vrtnje i režima rada. Također su zanemarene pauze operatera, fiziološke potrebe, odmori i ostalo.

Konvencionalnom (ručnom) izmjenom alata, dnevno se izrađuju 4 proizvoda, čija ukupna obrada traje  $4 \times 1 \text{ h} = 4 \text{ h}$ , a ukupno vrijeme izmjene obradaka traje  $4 \times 1 \text{ h} = 4 \text{ h}$ . Izmjenom obradaka pomoću paleta, dnevno se proizvodi 6 obradaka, čija ukupna obrada traje 6 h, a ukupno vrijeme izmjene traje  $6 \times 20 \text{ min} = 2 \text{ h}$ . Izmjenom obradaka automatskom izmjenom paleta izrađuju se 23 proizvoda, čije ukupno vrijeme obrade traje  $23 \times 1 \text{ h} = 23 \text{ h}$ , a ukupno vrijeme izmjene obradaka traje  $23 \times 2,5 \text{ min} = 57,5 \text{ min} \sim 1 \text{ h}$ .

Pretpostavlja se da operater radi 5 dana u tjednu. Pretpostavlja se da obradni stroj s automatskom izmjenom paleta ima dovoljno veliko skladište koje mu omogućava autonoman rad tokom cijelog vikenda.

Rezultati pokazuju da obradni stroj sa konvencionalnom (ručnom) izmjenom paleta tjedno ima ukupno obradno vrijeme 20 h. Obradni stroj sa izmjenom obradaka pomoću paleta

tjedno ima ukupno obradno vrijeme 30 h. Obradni stroj sa izmjenom obradaka pomoću automatske izmjene paleta tjedno ima ukupno obradno vrijeme 161 h.

**Tablica 9. Primjer proračuna proizvodnosti obradnog stroja**

	<b>Konvencionalna izmjena obradaka</b>	<b>Izmjena obradaka pomoću paleta</b>	<b>Izmjena obradaka automatskom izmjenom paleta</b>
<b>Dnevno radno vrijeme operatera (h)</b>	8	8	8
<b>Vrijeme izmjene obradaka (h) i (min)</b>	1h	20 min	2,5 min
<b>Pripremno radno vrijeme po danu (h)</b>	- 4	- 2	0
<b>Automatska proizvodnja po danu (h)</b>	0	0	+ 16
<b>Obradno vrijeme obradnog stroja po danu (h)</b>	= 4	= 6	= 23
<b>Radnih dana po tjednu</b>	5	5	7
<b>Tjedno obradno vrijeme obradnog stroja (h)</b>	= 20	= 30	= 161

Za potrebe proračuna rentabilnosti stroja uzima se da za 1 sat obradnog vremena obradnog stroja se zaradi 50 €. Cijena obradnog stroja iznosi 150 000 €. Cijena paletnog sustava za neautomatiziranu izmjenu iznosi 20 000 €. Cijena paletnog sustava s mogućnosti automatizacije iznosi 30 000 €, a automatizacija paletnog sustava iznosi 100 000 €. Okvirni podaci preuzeti su iz [21]. Dobiveni rezultati pokazuju da će se obradni stroj sa konvencionalnom (ručnom) izmjenom obradaka isplatiti za 150 tjedana. Obradni stroj sa izmjenom obradaka pomoću paleta će se isplatiti za 107 tjedana. Obradni stroj sa izmjenom obradaka pomoću automatske izmjene paleta će se isplatiti za 35 tjedana.

**Tablica 10. Rezultati proračuna rentabilnosti obradnog stroja**

	<b>Konvencionalna izmjena obradaka</b>	<b>Izmjena obradaka pomoću paleta</b>	<b>Izmjena obradaka automatskom izmjenom paleta</b>
<b>Zarada po satu rada stroja (€)</b>	50	50	50
<b>Tjedni rad glavnog vretena (h)</b>	×20	×30	×161
<b>Tjedni prihod (€)</b>	= 1000	= 1500	= 8050
<b>Cijena obradnog stroja (€)</b>	150 000	150 000	150 000
<b>Cijena paletnog sustava (€)</b>	0	+10 000	+ 30 000
<b>Cijena automatizacije sustava (€)</b>	0	0	+ 100 000
<b>Ukupna investicija (€)</b>	= 150 000	= 160 000	= 280 000
<b>Vrijeme isplate (tjedana)</b>	150	107	35

Komentar na rezultate: proizvodnost stroja sa ručnom izmjenom obradaka i izmjenom obradaka pomoću paleta povećala bi se uvođenjem rada u drugoj i trećoj smjeni, no pala bi zarada po satu rada stroja. Također za vrijeme izmjene obradaka pomoću paleta uzeto je vrijeme izmjene za pojedinačnu proizvodnju, dok je kod serijske proizvodnje to vrijeme bitno manje.

Iz dobivenih rezultata zaključuje se da konvencionalni način izmjene obradaka nema prednosti čak niti kad se radi o pojedinačnoj proizvodnji. Izmjena obradaka automatskom izmjenom paleta pokazala se najisplativijom, a pogotovo kad se radi o serijskoj proizvodnji, jer tad se ne očekuju veći problemi u radu stroja za vrijeme druge i treće smjene zbog već provjerenog NC programa, što nije slučaj za pojedinačnu proizvodnju.

## 5. ZAKLJUČAK

Odgovor na suvremene zahtjeve tržišta jest fleksibilna automatizacija koja omogućava povećanje proizvodnosti, fleksibilnosti i brzinu reakcije na zahtjeve tržišta, kao i poboljšanje kvalitete i stupnja iskoristivosti sustava. Jedan od značajnih segmenata za automatizaciju obradnih sustava jest automatizacija rukovanja obradcima.

Svi opisani sustavi rukovanja obradcima, od steznih naprava, preko sustava za izmjenu obradaka i pomoćnih sustava transporta i skladištenja, sudjeluju u procesu izmjene obradaka i svaki, ovisno o specifičnosti pojedinog procesa proizvodnje, ima ulogu povećanja autonomnosti i fleksibilnosti proizvodnog procesa. Jedan od najvećih preokreta na području automatske izmjene obradaka jest paletizacija sustava.

Primjena paletizacije nalazi se u brojnim granama industrije, u alatničarstvu, u automobilskoj industriji, zrakoplovnoj industriji, medicinskoj industriji kao i kod proizvodnje satova i mikro-mehaničkih dijelova. Paletizacija je prisutna gdje god se javlja potreba za brzim i točnim izmjenama obradaka, ali i nekih alata.

Paleta predstavlja osnovni element koji povezuje sve ostale elemente paletnog sustava, pri čemu je jedna od njihovih velikih prednosti mogućnost korištenja kako za rukovanje i pridržavanje obradaka tijekom obrade, tako i za skladištenje i transport sirovca i gotovih dijelova.

Primjenom paletnih sustava za izmjenu obradaka postižu se značajne uštede pripremnog vremena, prvenstveno jer se postupak stezanja i pozicioniranja obratka vrši neovisno o radu stroja, te se stoga ne oduzima od obradnog vremena obradnog stroja. Drugi veliki razlog je brza i točna izmjena obradaka primjenom referentnih sustava. Upravo iz tih razloga primjena paletnih sustava povećava fleksibilnost obradnog stroja, jer omogućava brz prijelaz s jednog proizvodnog programa na drugi. Zahvaljujući kraćem vremenu izmjene obradaka, obradni stoj ima veći potencijal radnog vremena, što efektivno znači proizvedeno više proizvoda u jedinici vremena. Primjenom automatske izmjene paleta, omogućen je rad stroja u sve tri smjene i vikendom i praznikom bez prisutnosti operatera.

Dodatne uštede postižu se primjenom VDP prihvata paleta u vidu bolje kvalitete površine što vodi smanjivanju broja potrebnih operacija na obratku, a time se skraćuje vrijeme



obrade i povećava produktivnost. Produktivnost se također povećava zbog većeg posmaka i brzina obrade koje omogućuje primjena VDP prihvata paleta. Manje sile obrade produžuju vijek trajanja glavnog vretena obradnog stroja i produžuju vijek trajanja reznog alata što smanjuje troškove proizvodnje, te samim time povećavaju ostvarenu dobit.

U praktičnom dijelu rada prikazane su konkretne uštede koje se postižu paletizacijom sustava. Vrijeme izmjene obradaka skraćeno je 3 puta primjenom ručne izmjene paleta za pojedinačnu proizvodnju, a 10 puta za serijsku proizvodnju u odnosu na konvencionalnu izmjenu obradaka. Primjenom automatske izmjene paleta, vrijeme izmjene skraćeno je 24 puta u odnosu na konvencionalnu ručnu izmjenu. Primjenom paletizacije značajno se povećava produktivnost, a time i rentabilnost obradnog stroja. Rezultati pokazuju da u budućnosti nema prostora za konvencionalnim načinom izmjene obradaka, pa čak ni kod pojedinačne proizvodnje.

Razvoj paletnih sustava ide u neprestanom povećavanju točnosti pozicioniranja i stabilnosti paletnih sustava, kao i skraćivanju vremena izmjene paleta.

No razvoj paletnih, odnosno referentnih sustava mogao bi teći u smjeru primjene na nove grane industrije gdje god se javlja potreba za brzim i točnim izmjenama obradaka, ali i nekih alata. Paletizacija se već primjenjuje za izmjenu alata kod obrade elektroerozijom, ali može se primijeniti na izmjenu alata, npr. kod obrade laserom. Također paletizacija bi se mogla primijeniti i na mjerne uređaje za brzu i točnu izmjenu mjerenih uzoraka.

Prostora za razvoj ima kod optimiranja načina i vremena stezanja obratka na palete, koji izravno ne doprinosi produktivnosti ili rentabilnosti stroja, ali ubrzava i podiže kvalitetu rada ljudi. Postoji mogućnost razvoja automatizacije i tog dijela zadatka primjenom robota i vizijskih sustava.

Sustavi za paletizaciju trebali bi biti obavezan asortiman svakog proizvodnog pogona, bilo da se radi o serijskoj i masovnoj proizvodnji ili pojedinačnoj i fleksibilnoj proizvodnji.

## 6. LITERATURA

- [1] Smid Peter, CNC programing handbook: comprehensive guide to practical CNC programing 2nd edition, Industrial Press Inc., New York, 2003.
- [2] Fleischer J., Denkena B., Winfough B., Mori M.: Workpiece and Tool Handling in Metal Cutting Machines, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 55, No. 2, 2006.
- [3] Regodić Dušan, Jovanović Slobodan, Tošić Predrag: Fleksibilni proizvodni sistemi, *Singidunum Revija*, Vol. 7, No. 1, 2010.
- [4] Rajko Todic, dipl. inž., Automatizacija rukovanja obracima u suvremenim obradnim sustavima, seminarski rad iz kolegija Automatizirani obradni sustavi, FSB, Zagreb 2006
- [5] [www.kipp.com](http://www.kipp.com), 05.05.2013.
- [6] [www.coincomercial.com](http://www.coincomercial.com), 26.04.2013.
- [7] [www.brailon.com](http://www.brailon.com), Turbomill: Electro – Permanent magnetic chucks, Brošura, *Brailon Magnetics*, Cedex, France, 20.04.2013
- [8] [www.vacuumchuck.com](http://www.vacuumchuck.com), 20.04.2013.
- [9] Luka Drobilo, Rukovanje alatima i obracima, Seminar iz kolegija Fleksibilni obradni sustavi, FSB, Zagreb, 2011.
- [10] [www.nemi.com](http://www.nemi.com), NEMI Vacuum Grid Chuck Systems, 21.04.2013.
- [11] Cebalo, R., Ciglar, D. & Stoić, A., “Obradni sustavi: fleksibilni obradni sustavi”, (drugo izmijenjeno izdanje), Zagreb, 2005, ISBN 953-96501-6-X
- [12] <http://www.hermle.de>, 21.04.2013.
- [13] [www.edgetechnologies.com](http://www.edgetechnologies.com), Bar Feeders, *EDGE Technologies*, 22.04.2013.
- [14] Damir Ciglar, predavanja, FSB, 2013.
- [15] [www.fjrmfg.com](http://www.fjrmfg.com), Vibratory Feeder Bowl Equipment, *FJR Manufacturing, Inc.*, 22.04.2013.
- [16] [www.mknorthamerica.com](http://www.mknorthamerica.com), Conveyor Systems, *MK Technology Group*, 25.04. 2013.
- [17] Automatic Guided Vechiles: Maximizing Productivity Across Industry, *Jervis B. Webb Company*, Bulletin no. 3075 012610, 2010.
- [18] [www.toolingu.com](http://www.toolingu.com), 10.04.2013.
- [19] [www.jashmetrology.com](http://www.jashmetrology.com), 25.04.2013.
- [20] [www.hoegg.ch](http://www.hoegg.ch), 26.04.2013.
- [21] [www.system3r.com](http://www.system3r.com), Reference systems for precision machining.pdf, 30.09.2013.
- [22] [www.fastems.com](http://www.fastems.com), 12.04.2013.
- [23] [www.searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/transponder](http://www.searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/transponder), 03.11.2013.
- [24] <http://www.k-kern.de>, 03.11.2013.

## **PRILOZI**

### **I. CD-R disc**